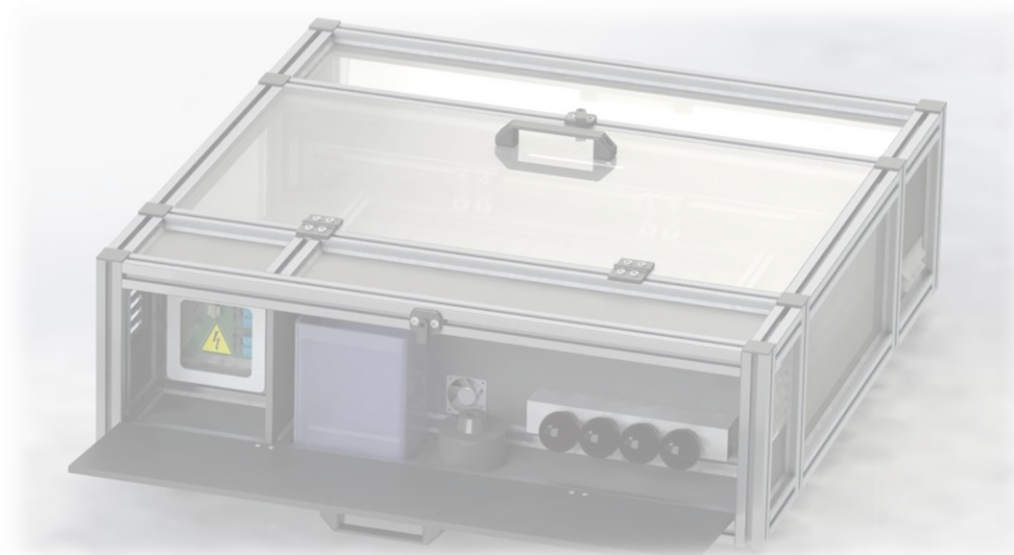


Pau Bas Calopa

Projecte d'una Incubadora amb Regulació Atmosfèrica



Josep Maria Domènech - Tutor i Director

Treball de final de grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Escola superior d'enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Departament de Projectes d'Enginyeria

Juny 2017

Resum

La tecnologia actual permet disposar de sistemes capaços de controlar les condicions atmosfèriques per a la incubació artificial d'ous d'ocells i per a poder mantenir les cries en condicions òptimes durant les primeres setmanes de vida.

L'objectiu del present projecte és el disseny d'una incubadora automàtica per a la incubació d'ous, incloent també el disseny d'un sistema de control basat en la programació d'un microprocessador Genuino-Arduino.

Desenvolupant el projecte sempre a partir de càlculs, simulacions i valoracions dels diferents aspectes tècnics que posen de manifest el caràcter interdisciplinari de l'Enginyeria Industrial, s'ha obtingut un projecte flexible, funcional, segur i fidel a la filosofia Open Source.

Paraules clau: *Disseny, Open Source, Incubadora, Avicultura, Transferència de calor, Control, Arduino, Materials.*

Summary

"Current technology allows the construction of systems capable of controlling atmospheric conditions for the artificial incubation of bird eggs and to keep the chicks in optimum conditions during the first weeks of life.

The aim of this project is to design an automatic incubator for the incubation of eggs, including the corresponding design of a control system based on the Genuino-Arduino microprocessor.

This project has always been developed while performing calculations, simulations and evaluations of the various technical aspects that highlight the interdisciplinary nature of industrial engineering, obtaining a flexible, functional and secure project that follows the Open Source philosophy."

Keywords: *Design, Open Source Incubator, Poultry, heat transfer, control, Arduino, Materials.*

Prefaci

Aquest treball és la resposta a una demanda per part de criadors professionals i aficionats, proporcionant un sistema capaç de mantenir una estabilitat atmosfèrica per a la cria d'ocells.

Electricitat, Materials, Termotècnia, Automàtica, Informàtica i Mecànica son algunes de les disciplines de l'Enginyeria que entren en joc i es combinen per al desenvolupament d'aquest projecte.

Aquest treball a més, seguint la filosofia *Open Source*¹, pretén ser un model per a aquells interessats en fabricar-se una incubadora domèstica, realitzant un disseny modular amb la possibilitat d'adaptar-se a diferents necessitats de capacitat i producció.

Per altra banda vull destacar que en aquest projecte s'ha prioritzat el fet de realitzar un disseny polivalent, modificable i senzill de fabricar, per damunt de altres consideracions.

Espero que aquesta aportació sigui d'utilitat per a altres estudiants a qui els pugui servir com a ajuda per a fer altres projectes d'aquest tipus.

¹ Open Source o disseny lliure, és el desenvolupament de productes físics mitjançant l'ús del disseny compartit públicament i de forma gratuïta sense reservar cap dret. La idea es centra en la premissa que al compartir els dissenys, el disseny resultant tendeix a ser de qualitat superior.

Sumari

| | |
|--|----|
| Resum..... | 1 |
| Summary | 1 |
| Prefaci..... | 2 |
| Sumari | 3 |
| Il·lustracions | 5 |
| Taules | 7 |
| 1. Introducció | 8 |
| 1.1. Cria d'ocells | 8 |
| 1.2. Antecedents i estat actual del tema | 9 |
| 1.3. Abast del projecte | 11 |
| 1.4. Mètode de treball | 11 |
| 1.5. Especificacions del projecte | 12 |
| 2. Objectius | 13 |
| 3. Esbossos | 14 |
| 4. Estudi tèrmic i Simulacions | 16 |
| 4.1. Objectiu | 16 |
| 4.2. Material i mètodes | 16 |
| 4.3. Resultats..... | 17 |
| 5. Càlculs..... | 19 |
| 5.1. Equacions per al càlcul de pèrdues de calor a les parets..... | 19 |
| Nota sobre el criteri de decisió entre panell massís o panell amb cambra d'aire: | 19 |
| 5.2. Equacions per al càlcul de pèrdues a través dels perfils d'alumini | 21 |
| 5.3. Equacions per al càlcul de la transferència de massa i calor | 23 |
| 5.4. Càlcul numèric amb <i>Maple</i> | 24 |
| 6. Automàtica | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.1. | Elements del sistema..... | 28 |
| 6.2. | Comportament del sistema..... | 32 |
| 7. | Informàtica | 34 |
| 7.1. | Estructura general de un <i>sketch</i> d'Arduino..... | 35 |
| 7.2. | Programa Informàtic del controlador de la incubadora | 37 |
| 8. | Electricitat | 47 |
| 8.1. | Selecció dels conductors | 48 |
| 9. | Disseny CAD..... | 49 |
| 9.1. | Sistema de gir i suport d'incubació | 51 |
| 9.2. | Estructura Externa..... | 55 |
| 9.3. | Cambra de condicionament | 59 |
| 9.4. | Caixa elèctrica | 61 |
| 10. | Materials | 64 |
| 10.1. | Metalls..... | 64 |
| 10.2. | Polímers i elastòmers | 67 |
| 10.3. | Materials naturals | 72 |
| 11. | Seguretat i Ergonomia..... | 73 |
| 11.1. | Avaluació d'amenaques i solucions proposades | 73 |
| 11.2. | Ergonomia | 75 |
| 12. | Anàlisi d'impacte mediambiental..... | 76 |
| 12.1. | Assumpcions prèvies generals | 76 |
| 12.2. | Resultats..... | 76 |
| 13. | Planificació de tasques i programació temporal del projecte..... | 81 |
| 14. | Conclusions | 82 |
| 15. | Bibliografia | 83 |

Il·lustracions

| | |
|---|----|
| Il·lustració 1.1: Incubadora Industrial ZH-176..... | 9 |
| Il·lustració 1.2: Incubadora domèstica | 9 |
| Il·lustració 1.3: Suport de volteig per inclinació..... | 9 |
| Il·lustració 1.4: Suport de volteig per rotació..... | 10 |
| Il·lustració 1.5: Suport de volteig per rodament lineal | 10 |
| Il·lustració 1.6: Suport de volteig per rodament circular | 10 |
| Il·lustració 3.1: Esbós de sistema de volteig amb rodets | 14 |
| Il·lustració 3.2: Esbós de sistema de rodament lineal..... | 15 |
| Il·lustració 3.3: Esbós de sistema de rodament lineal muntat al lateral | 15 |
| Il·lustració 4.1: Simulació del sistema en el software " <i>Energy 2D</i> "..... | 16 |
| Il·lustració 4.2: Gràfica de temperatures en funció del temps d'una simulació en <i>Energy 2D</i> per a un possible disseny de incubadora. | 17 |
| Il·lustració 4.3: Simulació en <i>Energy 2D</i> de la configuració definitiva | 18 |
| Il·lustració 5.1: Calor perduda a través de les parets..... | 19 |
| Il·lustració 5.2: Esquema del Panell de doble vidre | 20 |
| Il·lustració 5.3: Esquema de resistències tèrmiques d'un perfil d'alumini..... | 21 |
| Il·lustració 5.4: Esquema de la incubadora | 24 |
| Il·lustració 5.5: Volum de control a la cambra 1 | 27 |
| Il·lustració 6.1: Diagrama de blocs d'un sistema de control de llaç tancat..... | 28 |
| Il·lustració 6.2: Microprocessador Genuino-Arduino UNO | 28 |
| Il·lustració 6.3: Placa amb 2 relés per a Arduino..... | 29 |
| Il·lustració 6.4: Servomotor..... | 29 |
| Il·lustració 6.5: Calor necessària que han de produir les fonts, en funció del cabal volumètric. 30 | |
| Il·lustració 6.6: Ventilador per a PC..... | 30 |
| Il·lustració 6.7: Humidificador d'ultrasons | 31 |
| Il·lustració 6.8: Llum infraroja 100W | 31 |
| Il·lustració 6.9 : Sensor DHT11 | 32 |
| Il·lustració 7.1: IDE oficial d'arduino..... | 34 |
| Il·lustració 7.2: Muntatge electrònic de proves. | 36 |
| Il·lustració 8.1: Esquema elèctric del sistema. | 47 |
| Il·lustració 8.2: Esquema d'intensitats del circuit elèctric..... | 48 |
| Il·lustració 9.1: Pantalla del programa CAD <i>SolidWorks2016</i> | 49 |
| Il·lustració 9.2: Pantalla de 3D Content Central | 50 |

| | |
|---|----|
| Il·lustració 9.3: Model 3D del sistema de gir i suport d'incubació | 51 |
| Il·lustració 9.4: Model 3D de l'estructura externa. | 55 |
| Il·lustració 9.5: Model 3D de la cambra de condicionament de l'aire. | 59 |
| Il·lustració 9.6: Model 3D de la caixa elèctrica..... | 61 |
| Il·lustració 10.1: Gràfic Densitat - Límit elàstic de diversos metalls (CES Edu Pack)..... | 64 |
| Il·lustració 10.2: Gràfic Preu-Densitat de diversos metalls (CES Edu Pack). | 65 |
| Il·lustració 10.3: Gràfic Preu - Límit elàstic de diversos metalls (CES Edu Pack). | 66 |
| Il·lustració 10.4: Gràfic Mòdul de Young - Límit elàstic de materials plàstics (CES Edu Pack). | 67 |
| Il·lustració 10.5: Gràfic del Preu i la Transparència d'alguns polímers (CES Edu Pack). | 71 |
| Il·lustració 10.6: Gràfic de la Resistència a tensió i mòdul de Young (CES Edu Pack). | 72 |
| Il·lustració 11.1: Símbol de risc elèctric..... | 73 |
| Il·lustració 11.2: Doble panell PVC. El PCV allibera clor gas que apaga el foc..... | 74 |
| Il·lustració 11.3: Comparació entre el disseny actual (esquerra) i un disseny més compacte (dreta)..... | 75 |
| Il·lustració 12.1: Representació gràfica de la petjada de carboni. | 77 |
| Il·lustració 12.2: Representació gràfica de la Energia total consumida. | 77 |
| Il·lustració 12.3: Representació gràfica de les emissions de SO ₂ | 78 |
| Il·lustració 12.4: Representació gràfica de les emissions de PO ₄ | 79 |
| Il·lustració 13.1: Diagrama de Gantt. | 81 |

Taules

| | |
|--|----|
| Taula 1: Taula de veritats Humitat | 32 |
| Taula 2: Taula de Veritats Temperatura..... | 33 |
| Taula 3: Seccions de cable norma AWG..... | 48 |
| Taula 4: Elements extrets de 3D <i>Content Central</i> | 50 |
| Taula 5: Propietats mitjanes del cautxú NBR+PVC..... | 68 |
| Taula 6: Propietats mitjanes de la Poliamida 6.6 | 68 |
| Taula 7: Propietats mitjanes del Polietilè (PE) | 69 |
| Taula 8: Propietats mitjanes del Policlorur de vinil (PVC) | 69 |
| Taula 9: Propietats mitjanes del Polipropilè (PP) | 70 |
| Taula 10: Propietats mitjanes del Polimetil metacrilat | 70 |
| Taula 11: Assumpcions generals prèvies al estudi de cicle de vida. | 76 |
| Taula 12: Llistat dels 10 components amb major contribució als impactes mediambientals. | 80 |

1. Introducció

La cria d'ocells té un gran recorregut industrial i domèstic. Això fa que cada cop més criadors busquin solucions més eficients a problemes relacionats amb aquesta activitat.

El problema principal, és la pèrdua de rendiment causada per l'abandonament de la incubació dels ous per part de les mares en captivitat i la mort prematura dels pollets nascuts per una manca de qualitat de l'ambient.

Les incubadores automàtiques són una resposta eficient a aquesta situació ja que permeten augmentar la producció i la qualitat del producte.

1.1. Cria d'ocells

Per a la correcta incubació d'ous i cria dels pollets s'ha d'ajustar principalment quatre paràmetres de l'ambient: temperatura, humitat, ventilació i volteig segons els experts en el sector de l'avicultura[1].

- **Temperatura:** és el paràmetre més crític de tots ja que determina directament la supervivència dels embrions. Ha de romandre entre els 37°C i els 39°C els primers dies i baixar fins als 36°C els darrers dies. Les temperatures però depenen de l'espècie d'ocell.
- **Humitat:** també és important mantenir uns nivells d'humitat dins uns marges per a facilitar l'intercanvi d'aire i compensar la pèrdua d'aigua dels ous per evaporació. Sol mantenir-se entre el 85% i el 87% durant els primers dies d'incubació i augmentar-la fins a un 90% els darrers dies per facilitar la eclosió. Tot i així la humitat depèn també del tipus d'au.[2]
- **Ventilació:** la ventilació és necessària per a la renovació de l'aire i per a homogeneïtzar la temperatura. S'ha d'evitar però les corrents d'aire ràpides.
- **Volteig:** per a impedir que el embrió s'adhereixi a les membranes internes, s'ha de girar l'ou cada 1 o 2 hores fins uns dies abans de l'eclosió quan s'aturà completament el volteig.[3]

1.2. Antecedents i estat actual del tema

Actualment es disposa de nombrosos dissenys i mètodes d'incubació. Tot i que totes comparteixen el mateix principi, és possible classificar-les de diferents maneres.

Segons el sector al qual van dirigides es poden diferenciar:

- **Industrials:** solen estar dissenyades per a explotacions grans d'ocells, proporcionant una capacitat d'uns 200 ous.



Il·lustració 1.1: Incubadora Industrial ZH-176.

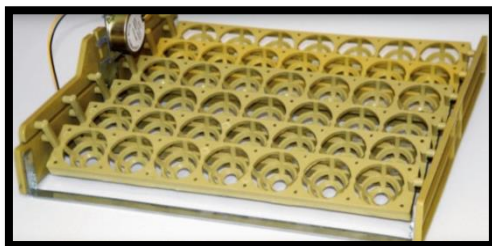
- **Domèstiques:** solen estar dissenyades per a aficionats a la cria d'ocells, solen proporcionar capacitats d'entre 20 i 40 ous.



Il·lustració 1.2: Incubadora domèstica.

També poden ésser classificades segons el sistema de volteig:

- **Per inclinació:** es disposen els ous en unes fileres de nius i mitjançant un motor, es crea un balanceig que inclina els ous des de diferents angles menors a 90°. És el sistema més usat, ja que aprofita el màxim espai.



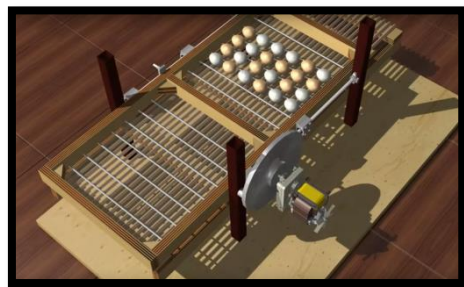
Il·lustració 1.3: Suport de volteig per inclinació.

- **Per rotació:** aconseguir el moviment dels ous mitjançant la rotació d'uns rodets col·locats a la part inferior, és un sistema menys usat ja que ocupa més espai, però és el sistema més semblant al gir que proporciona la mare en un entorn natural.



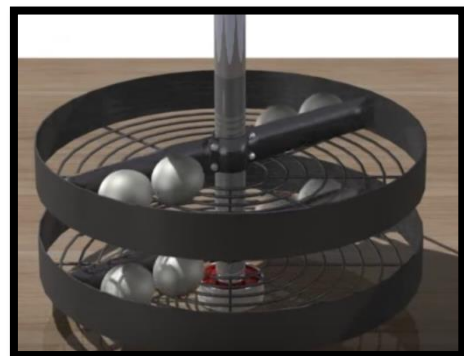
Il·lustració 1.4: Suport de volteig per rotació.

- **Per rodament lineal:** es col·loquen els ous sobre una superfície plana i entremig d'una reixa de varetes de ferro. Un motor produeix un moviment lineal de la reixa, tot fent rodar els ous per sobre la superfície.



Il·lustració 1.5: Suport de volteig per rodament lineal.

- **Per rodament circular:** es basa en el mateix principi que el rodament lineal, però el moviment no el fa una reixa, sinó unes pales i el moviment no és lineal sinó circular. és un disseny més compacte ja que es recorre menys superfície.



Il·lustració 1.6: Suport de volteig per rodament circular.

1.3. Abast del projecte

En aquest projecte es realitzaran les següents tasques:

- a) Estudi tèrmic del sistema mitjançant simuladors, càlculs de transferència de massa i calor que justifiquin el disseny, el disseny dels components amb 3D amb els corresponents plànols – s'exclouen però peces complexes com motors, bombetes, electrònica... i peces estàndards com ara cargols o passadors que poden ser adquirits al mercat i el disseny dels quals queda fora de l'objectiu del treball-.
- b) Disseny dels sistemes elèctrics i electrònic amb el seu corresponent programa informàtic per al control del microprocessador.
- c) Estudi de les diverses alternatives de materials, un estudi de riscos i un estudi d'impacte mediambiental.
- d) Documents necessaris per al desenvolupament d'un projecte d'aquestes característiques.

1.4. Mètode de treball

El mètode seguit per a fer el treball ha estat el següent:

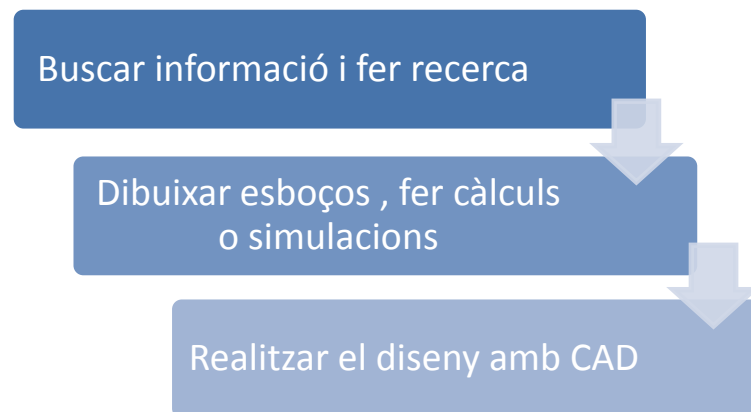


Figura 1.1: Mètode de treball.

D'aquesta manera es pot fer un ús més eficient dels recursos disponibles, i es redueixen les modificacions a posteriori.

1.5. Especificacions del projecte

En aquest apartat s'enumeren els diversos requeriments i criteris que ha d'acomplir el projecte final per a poder considerar-se satisfactori i situar-se entre les incubadores domèstiques que es poden trobar al mercat.

Requeriments: Punts que necessàriament ha de complir el projecte,

- Preu final inferior a 1.000€.
- Capacitat d'entre 20 i 40 ous.
- Dimensions menors a 1m x 1m x 1m.
- Control automàtic de temperatura.
- Control automàtic de la humitat.
- Ha de disposar d'un mecanisme automàtic que giri els ous periòdicament.
- Adaptable a diverses espècies d'ocell.

Criteris: Punts que és desitjable accomplir en el projecte

- Fabricat amb materials fiables i resistents que no siguin tòxics ni perjudicials per les cries.
- Fàcil d'utilitzar i programar.
- Baix consum elèctric.
- Disseny atractiu.
- Segur i respectuós amb el medi ambient.

2. Objectius

Seguidament s'enumeren l'objectiu principal del projecte i els objectius secundaris que necessiten ser acompanyats per tal d'arribar a l'objectiu principal.

Objectiu principal:

Disseny d'una incubadora per a la cria d'ocells d'ús domèstic.

Objectius secundaris:

Realitzar un estudi previ del comportament tèrmic del sistema.

Realitzar els càlculs necessaris per a poder dimensionar el disseny.

Dissenyar el procés de control i especificar el comportament automàtic del sistema.

Implementar el procés de control en un microprocessador mitjançant el desenvolupament d'un programa informàtic.

Dissenyar el model 3D dels components físics de la incubadora.

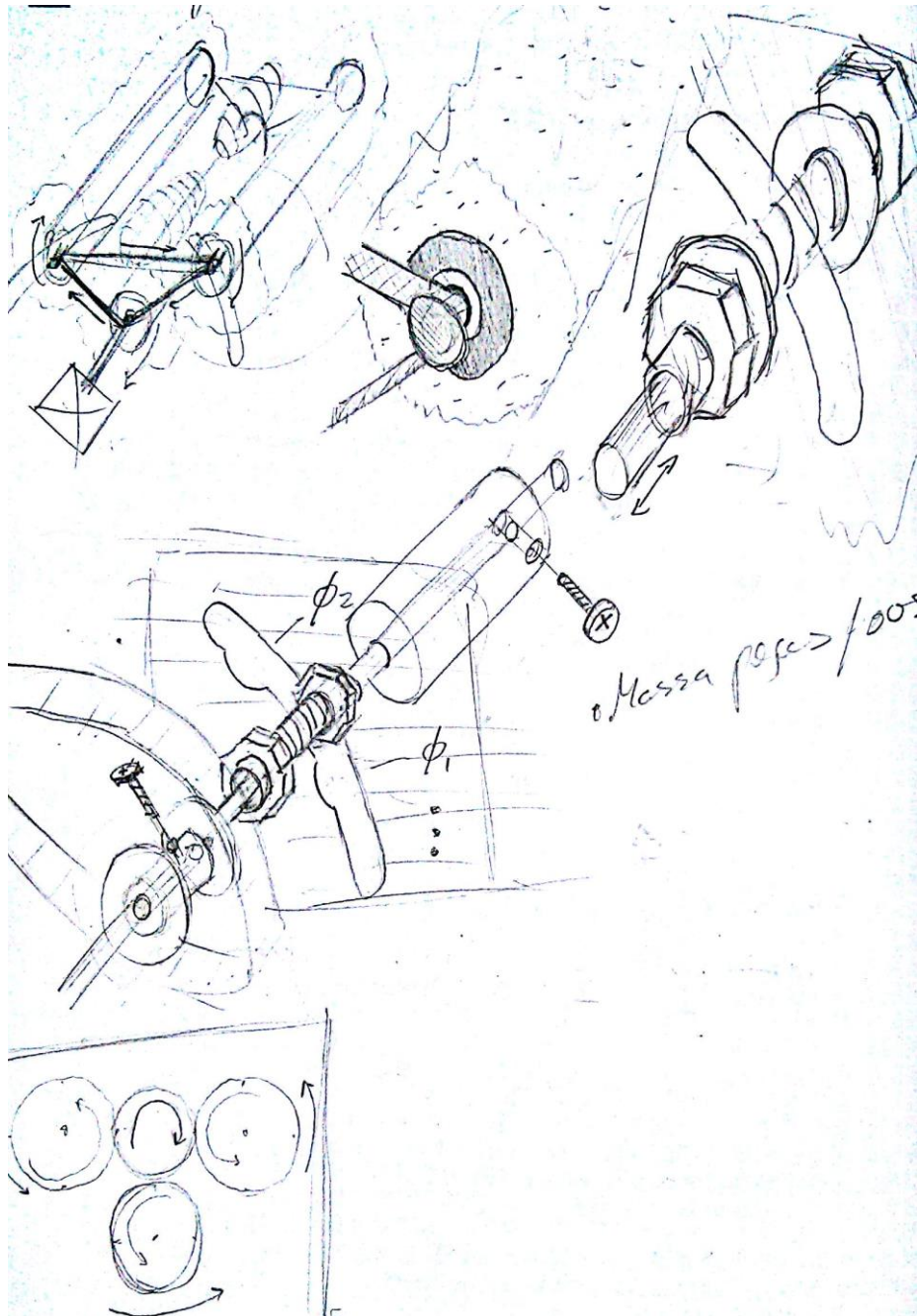
Fer una tria d'entre diverses opcions per als materials.

Avaluar els possibles riscos de seguretat i estudiar-ne les solucions

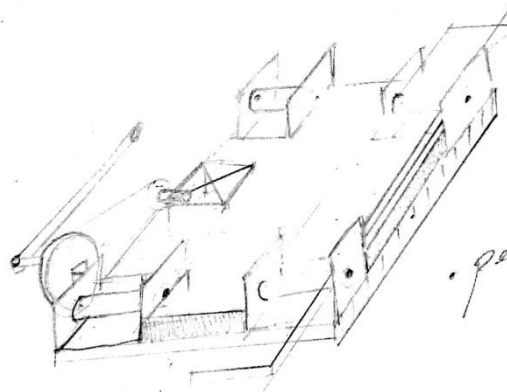
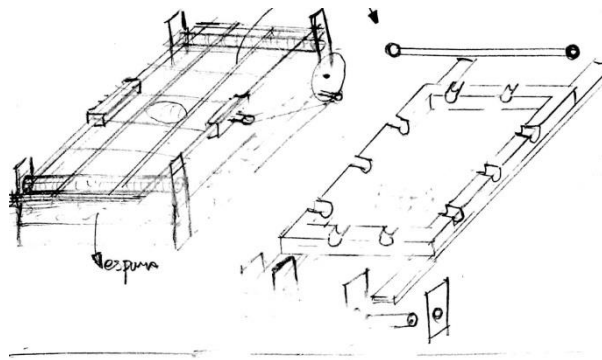
Fer un estudi d'impacte ambiental mitjançant anàlisi de cicle de vida.

3. Esbossos

Tal com s'ha explicat a la introducció, per a poder plasmar la idea principal sobre paper i concretar-ne alguns aspectes, s'han hagut de realitzar uns primers esbossos, seguidament es mostren alguns d'aquests dibuixos per a mostrar l'evolució de la idea inicial durant les primeres setmanes.

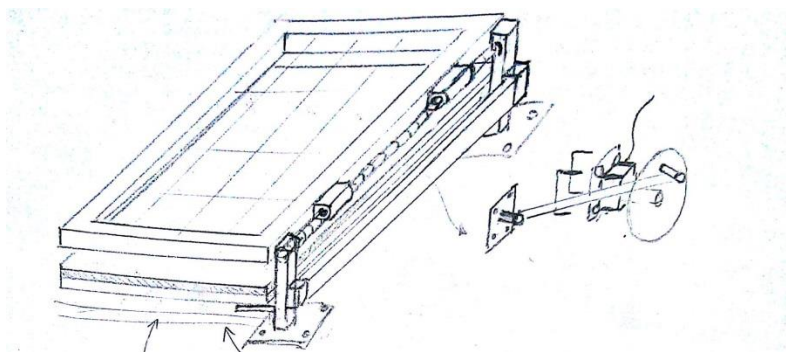


Il·lustració 3.1: Esbós de sistema de volteig amb rodets .



Il·lustració 3.2: Esbós de sistema de rodament lineal.

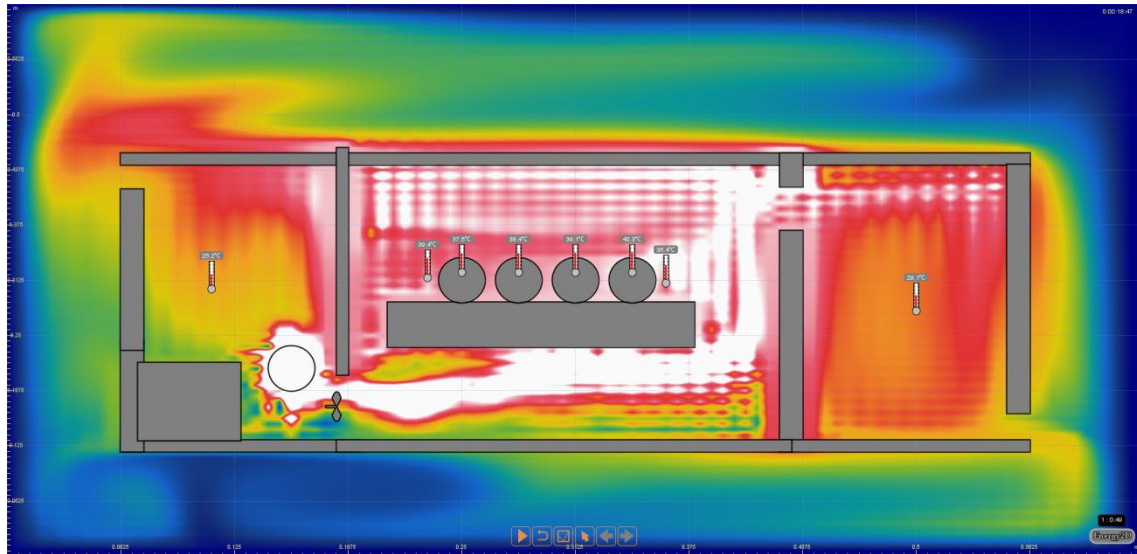
Els dissenys anteriors van ser descartats per espai o complexitat i finalment es va optar per als següents esbossos:



Il·lustració 3.3: Esbós de sistema de rodament lineal muntat al lateral.

4. Estudi tèrmic i Simulacions

Per a començar amb el disseny de la incubadora, és imprescindible realitzar prèviament un estudi del comportament tèrmic del sistema. D'aquesta manera es pot reduir el consum energètic triant una solució més eficient. Aquest estudi també ha de permetre configurar l'espai de forma que els ous tinguin una temperatura estable.



Il·lustració 4.1: Simulació del sistema en el software "Energy 2D".

4.1. Objectiu

Determinar un model que garanteix una bona estabilitat tèrmica a la cambra d'incubació procurant reduir el malbaratament de calor. És important que el tots els ous tinguin aproximadament la mateixa temperatura.

4.2. Material i mètodes

S'han dibuixat múltiples models diferents d'incubadora i s'han introduït en el simulador informàtic d'accés lliure *Energy 2D*[4] per a estudiar-ne el comportament.

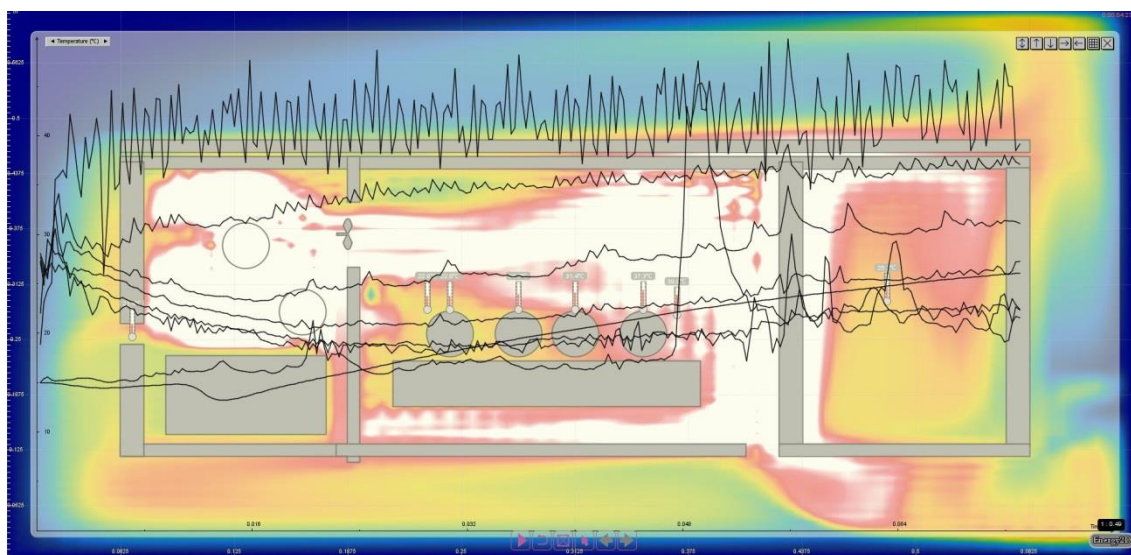
El programa permet introduir diversos elements i configurar les característiques tèrmiques del material, també permet ajustar la temperatura ambient i col·locar sensors virtuals per mesurar la temperatura o altres paràmetres en un punt concret. Els gradients de temperatura es

representen en forma de colors, de manera que el blau correspon a la temperatura més baixa i el blanc a la temperatura més alta.

Una de les múltiples eines del simulador consisteix en la representació gràfica de la temperatura dels sensors en funció del temps. D'aquesta manera es pot observar l'evolució de les temperatures del sistema i avaluar-ne l'estabilitat.

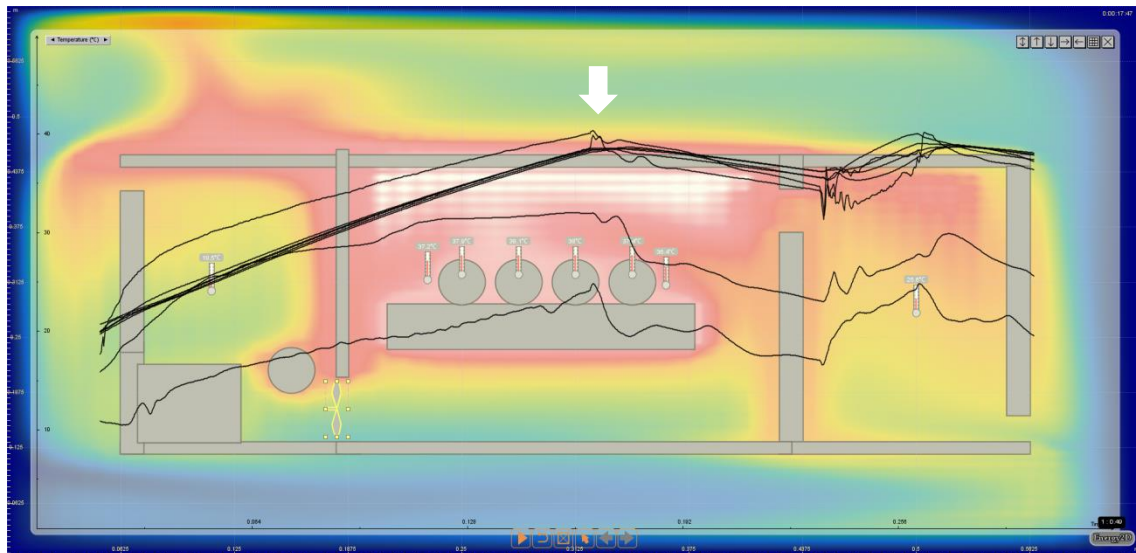
4.3. Resultats

Com a exemple, una de les primeres variants de disseny es mostra a la il·lustració 4.2. Es pot observar que el gradient de temperatura al llarg de la zona d'incubació és de més de 4°C en 30 cm ja que cada línia, que representa un únic sensor, oscil·la al voltant d'una temperatura força separada de la anterior. Aquesta diferència de temperatures indica una gran inestabilitat i representa un problema per al desenvolupament dels embrions.



Il·lustració 4.2: Gràfica de temperatures en funció del temps d'una simulació en *Energy 2D* per a un possible disseny de incubadora.

Després d'aplicar diversos canvis en la configuració del sistema, s'ha adoptat una solució definitiva (il·lustració 4.3) en la que les línies de les gràfiques proporcionades pel programa es mouen de forma més constant i lineal que no pas a la Il·lustració 4.2. Per altra banda, també podem observar que les línies oscil·len al voltant de temperatures força més properes. Això últim és indicatiu de l'assoliment d'una temperatura més homogènia en tota la cambra.



II-lustració 4.3: Simulació en Energy 2D de la configuració definitiva.

Finalment, es pot observar un darrer detall relacionat amb la resposta transitòria del sistema. Si aturem la font de calor (fletxa blanca) observem que les temperatures baixen de forma uniforme i es mantenen semblants durant la pertorbació. Aquest aspecte també ens indica que la temperatura d'incubació serà homogènia per a tots els ous.

Com a conclusió, podem afirmar que el disseny seleccionat proporciona una bona resposta en règim transitori i que les temperatures als diferents punts de la incubadora tendeixen a ser semblants en règim estacionari.

5. Càlculs

Els càlculs de transferència de massa i calor són necessaris per a poder dimensionar l'energia que consumirà el disseny i quantificar-ne l'eficiència.

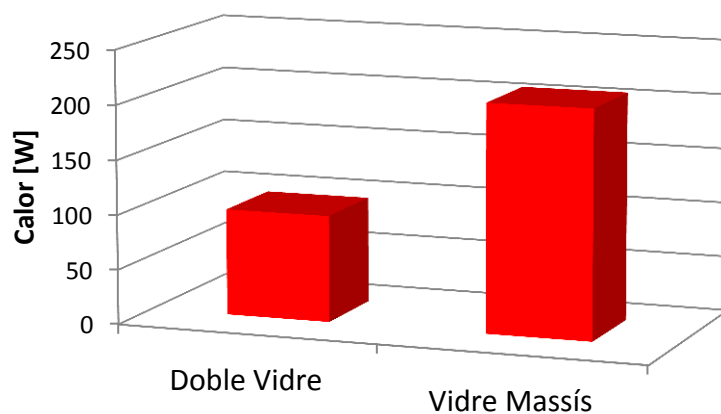
5.1. Equacions per al càlcul de pèrdues de calor a les parets

Nota sobre el criteri de decisió entre panell massís o panell amb cambra d'aire:

Per a decidir quin tipus de panells s'han d'utilitzar s'ha realitzat un càlcul de transferència de calor a través de les dues opcions:

- Dues fulles de 2mm de gruix amb cambra d'aire de 6mm
- Panell massís de 10mm de gruix.

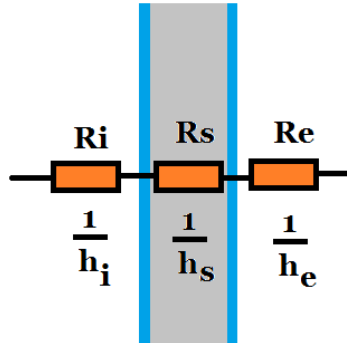
En el següent gràfic s'exposen els resultats dels càlculs. Com podem comprovar, l'opció del vidre doble és la més eficient ja que per una banda estalviem gruix de material i per altra banda disminueixen les pèrdues de calor.



Il·lustració 5.1: Calor perduda a través de les parets.

seguidament s'exposen els càlculs per al cas de vidre doble i obviarem els càlculs per al vidre massís, ja que no es seguirà aquesta opció.

Per a calcular les pèrdues plantejarem les equacions per a la transferència de calor a través d'un doble vidre on considerem negligible la resistència tèrmica de conducció comparada amb la convecció ($R_{\text{conducció}} / R_{\text{convecció}} < 0.1$)



Il·lustració 5.2: Esquema del Panell de doble vidre

$$Q = \frac{(\Delta T) \cdot S}{R_{\text{interior}} + R_{\text{separació}} + R_{\text{exterior}}}$$

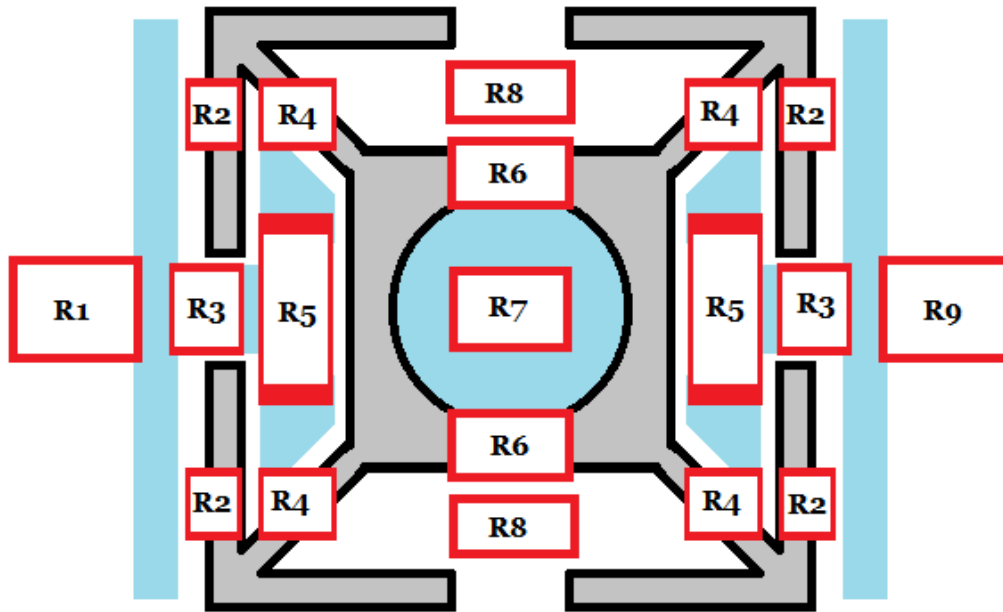
$$Q = \frac{(T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}) \cdot S}{\frac{1}{h_{\text{interior}}} + \frac{1}{h_{\text{separació}}} + \frac{1}{h_{\text{exterior}}}}$$

On:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \text{temperatura [K]} \\ h = \text{coeficient de convecció} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \\ S = \text{superfície [m}^2\text{]} \\ Q = \text{calor [W]} \end{array} \right.$$

5.2. Equacions per al càlcul de pèrdues a través dels perfils d'alumini

El càlcul de transferència de calor a través del perfil d'alumini és més complicat que a través del doble vidre així que s'ha fet aproximacions en quant al coeficient de convecció a l'interior del perfil i s'ha reduït el problema al esquema 5.2.



Il·lustració 5.3: Esquema de resistències tèrmiques d'un perfil d'alumini

Seguint el mateix principi anterior de l'analogia del circuit elèctric al circuit tèrmic s'obté l'expressió següent:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_1 + \frac{2}{\frac{2}{R_2} + \frac{1}{R_3}} + \frac{2}{\frac{2}{R_4} + \frac{1}{R_5}} + \frac{1}{\frac{2}{R_8} + \frac{2}{R_6} + \frac{1}{R_7}} + R_9}$$

Si es substitueix les resistències per l'invers dels coeficients de transferència de calor:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{s_1} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{2}{\frac{x_2}{s_2} \cdot \frac{1}{\lambda_{al}} + \frac{1}{s_3} \cdot \frac{1}{h_3}} + \frac{2}{\frac{x_4}{s_4} \cdot \frac{1}{\lambda_{al}} + \frac{1}{s_5} \cdot \frac{1}{h_5}} + \frac{1}{\frac{x_8}{s_8} \cdot \frac{1}{\lambda_{al}} + \frac{x_6}{s_6} \cdot \frac{1}{\lambda_{al}} + \frac{1}{s_7} \cdot \frac{1}{h_7}} + \frac{1}{s_9} \cdot \frac{1}{h_9}}$$

Si s'agrupa els termes i es simplifiquen, s'obté la següent expressió que relaciona la calor a través del perfil d'alumini en direcció perpendicular a la llargada:

$$Q = \frac{L \cdot \Delta T}{\frac{1}{s_1} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{2}{\frac{s_2}{x_2} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_3 \cdot h_3} + \frac{2}{\frac{s_4}{x_4} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_5 \cdot h_5} + \frac{1}{\frac{s_8}{x_8} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + \frac{s_6}{x_6} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_7 \cdot h_7} + \frac{1}{s_9} \cdot \frac{1}{h_9}}$$

Per altra banda cal destacar que per a fer els càlculs cal tenir en compte que degut a la construcció de la incubadora, només hi haurà transferència de calor a través de les cantonades, per a tenir en compte aquest detall podem considerar que la transferència serà reduïda una quarta part aproximadament.

$$Q = \frac{L \cdot \Delta T \cdot 0.75}{\frac{1}{s_1} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{2}{\frac{s_2}{x_2} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_3 \cdot h_3} + \frac{2}{\frac{s_4}{x_4} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_5 \cdot h_5} + \frac{1}{\frac{s_8}{x_8} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + \frac{s_6}{x_6} \cdot 2 \cdot \lambda_{al} + s_7 \cdot h_7} + \frac{1}{s_9} \cdot \frac{1}{h_9}}$$

on:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \text{temperatura [K]} \\ h = \text{coeficient de convecció} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \\ \lambda_{al} = \text{coeficient de conducció} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \\ S = \text{superfície [m]} \\ x = \text{gruix [m]} \\ Q = \text{calor [W]} \\ L = \text{llargada del perfil [m]} \end{array} \right.$$

5.3. Equacions per al càlcul de la transferència de massa i calor

Per a calcular la transferència de massa i calor a través de la incubadora, s'aplica l'equació de l'energia en forma integral² prenent un volum de control que simula les parets del tram d'estudi.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \left(U + \frac{V^2}{2} + gZ \right) \rho dV + \oint_{Sc} \left[\left(U + \frac{V^2}{2} + gZ \right) + \frac{P}{\rho} \right] \rho \vec{V} d\vec{S}$$

Si es fa les següents hipòtesis es redueix l'equació a un simple balanç de calor:

- Velocitat no té efecte sobre la temperatura.
- Desnivell negligible.
- El treball axial no afecta a la temperatura i fregament negligible.
- Gradient de pressió no té efecte sobre la temperatura.
- Fluid incompressible i flux estacionari.

I s'obté la següent expressió:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} + \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

On:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \text{temperatura [K]} \\ c_p = \text{Calor específic} \left[\frac{J}{Kg \cdot K} \right] \\ \frac{dT}{dt} = \text{velocitat d'escalfament} \left[\frac{K}{s} \right] \\ m = \text{massa [Kg]} \end{array} \right.$$

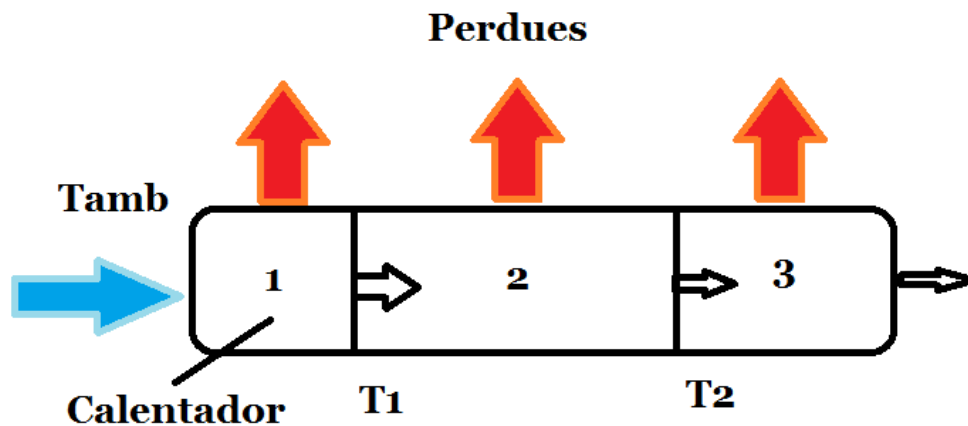
² L'equació de l'energia en forma integral prové de l'aplicació del primer principi de la termodinàmica a l'equació de transport de Reynolds i quantifica que, donat un volum de control, el flux total d'energia d'aquest volum de control és igual a la suma de potències calorífica i mecànica transferida o aplicada al fluid del volum de control.

5.4. Càlcul numèric amb Maple

Per al càlcul numèric s'han escrit les equacions en el programa de càlcul *Maple* [5]. S'han pres les dades dels materials i coeficients de transferència de calor de les taules termodinàmiques d'un llibre de text de termodinàmica [6]. Les dades geomètriques s'han pres d'un model preliminar fet en un programa de CAD [7]. El flux màssic s'ha obtingut a partir de les característiques mitjanes d'un ventilador de PC de 12V de 60x60cm i la velocitat d'escalfament s'ha triat per a obtenir la temperatura d'incubació en uns 5 minuts.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{plastic} &:= 0.19; \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] & Volum1 &:= 0.0294; [m^3] \\
 \lambda_{alumini} &:= 209.3; & superficiele1 &:= 0.46; [m^2] \\
 h_{ambient1} &:= 10; \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] & Volum2 &:= 0.12; \\
 h_{ambient2} &:= 20; & superficiele2 &:= 1.2; \\
 h_{espai6mm} &:= 3.2; & Volum3 &:= 0.052; \\
 h_{espai10mm} &:= 4; & superficiele3 &:= 0.7; \\
 fluxm &:= 0.014; \left[\frac{m^3}{s} \right] & \rho_{aire} &:= 1.2; \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \\
 Cp &:= 1007; \left[\frac{J}{Kg \cdot K} \right] & Tamb &:= 20; [^{\circ}C] \\
 & & T1 &:= 40; \\
 & & Velocitat_escalfament &:= \frac{1}{15}; \left[\frac{^{\circ}C}{s} \right]
 \end{aligned}$$

Hem dividit la incubadora en 3 cambres per a fer els càlculs més senzills i explicatius.



Il·lustració 5.4: Esquema de la incubadora

En primer lloc, es calcula la calor necessària per a escalfar l'aire de la cambra 1 de 20°C a 40°C en 5 minuts i també la calor necessària per a escalfar el flux d'aire constant produït pel ventilador de 20°C a l'entrada i 40°C a la sortida.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} + \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{transitori} := \rho_{aire} \cdot Volum1 \cdot Cp \cdot Velocitat_escalfament$$

2.368464000

$$Q_{estacionari} := \rho_{aire} \cdot fluxm \cdot Cp \cdot (T1 - Tamb)$$

338.3520

I per a la cambra 2 tenim que:

$$Q_{transitori2} := \rho_{aire} \cdot Volum2 \cdot Cp \cdot Velocitat_escalfament$$

9.667200000

Per a calcular les pèrdues de calor a través de les parets, apliquem l'equació plantejada anteriorment,

$$Q = \frac{(T_{exterior} - T_{interior}) \cdot S}{\frac{1}{h_{interior}} + \frac{1}{h_{separació}} + \frac{1}{h_{exterior}}}$$

Pèrdues a la cambra 1

$$Q_{perdues1} := \frac{superficie1 \cdot (T1 - Tamb)}{\frac{1}{h_espai6mm} + \frac{1}{h_ambient1} + \frac{1}{h_ambient2}}$$

19.89189189

Pèrdues a la cambra 2

$$Q_{perdues2} := \frac{superficie2 \cdot (T1 - Tamb)}{\frac{1}{h_espai6mm} + \frac{1}{h_ambient1} + \frac{1}{h_ambient2}}$$

51.89189189

Per a calcular les pèrdues a la cambra 3, abans hem de calcular la temperatura a l'entrada T2,

Temperatura a la entrada de la cambra 2

$$T2 := T1 - \frac{Q_{perdues2}}{\rho_{aire} \cdot fluxm \cdot Cp}$$

36.93266823

Lavors amb aquesta temperatura ja podem calcular les pèrdues a la cambra 3

Pèrdues a la cambra 3

$$Q_{perdues3} := \frac{superficie3 \cdot (T2 - Tamb)}{\frac{1}{h_{espai6mm}} + \frac{1}{h_{ambient1}} + \frac{1}{h_{ambient2}}}$$

25.62782218

Les pèrdues per alumini les calculem també amb l'expressió deduïda al apartat 5.2,

Si contem que tindrem una llargada total de uns 5 metres de perfil trobem la suma total de les pèrdues de calor a través de tots els perfils d'alumini,

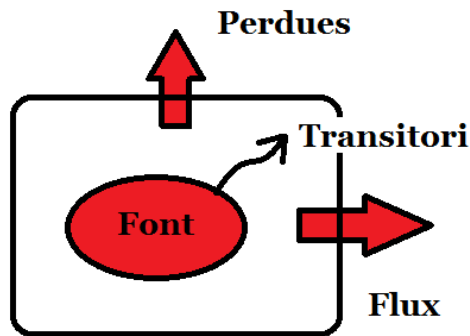
Pèrdues alumini

$$Q_{alumini} := (5) \cdot ((T1 - Tamb) \cdot 0.75) \left/ \left(\frac{1}{0.04 \cdot h_{ambient1}} + \frac{2}{\frac{2}{0.002} + \frac{1}{\lambda_{alumini} \cdot 0.015}} + \frac{1}{\frac{2}{0.01} + \frac{1}{\lambda_{alumini} \cdot 0.002}} + \frac{1}{\frac{2}{h_{espai10mm} \cdot 0.01} + \frac{2}{0.005 \cdot \lambda_{alumini}} + \frac{1}{0.008 \cdot h_{espai10mm}}} + \frac{1}{0.04 \cdot h_{ambient2}} \right) \right.$$

19.82004022

(13)

Finalment, podem calcular la potència que tindrà la font i l'eficiència del sistema,



Il·lustració 5.5: Volum de control a la cambra 1

Potència de la font: [Watts]

$$Q_{font} := Q_{transitori1} + Q_{estacionari1} + Q_{perdues1} + Q_{alumini}$$

380.4323961

Eficiència:

$$\eta_{total} := \frac{Q_{font} - (Q_{perdues1} + Q_{perdues2} + Q_{perdues3} + Q_{alumini})}{Q_{font}}$$

0.6918463112

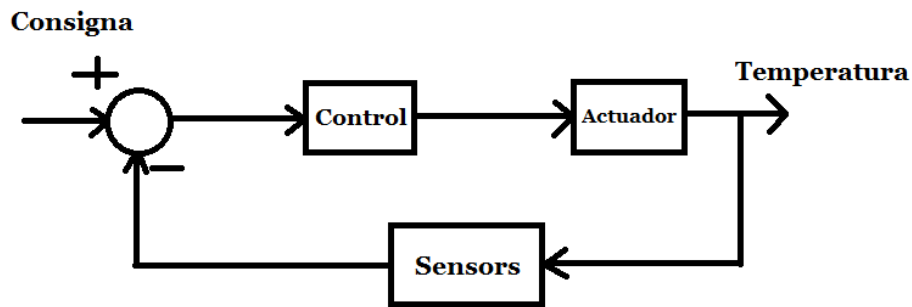
Com podem veure, en els càlculs s'han agrupat totes les pèrdues de l'alumini en el primer tram, així s'assegura que l'error en els càlculs és comptar amb el pitjor rendiment. D'aquesta manera podem assegurar que el consum serà menor que el calculat i que el rendiment serà millor que l'esperat.

Aquests càlculs permeten obtenir la potència que caldrà aplicar per al correcte funcionament del sistema. Considerant les simplificacions que s'han fet es pot assegurar que una font de **400W** de potència calorífica satisfarà les necessitats del sistema.

6. Automàtica

Un cop dimensionat el problema, ara cal determinar com es controlarà la temperatura, humitat i volteig dels ous.

Per a tenir un bon control s'haurà de dissenyar un sistema en llaç tancat on els sensors llegeixen la temperatura i el controlador la compara amb la consigna, activant els actuadors.



Il·lustració 6.1: Diagrama de blocs d'un sistema de control de llaç tancat

6.1. Elements del sistema

Controladors: és l'element encarregat de rebre, processar, comparar i enviar informació des dels sensors cap als actuadors. Per al treball s'ha decidit recórrer a un microprocessador Genuino-Arduino per ser un entorn senzill, intuïtiu i obert, amb una gran comunitat d'usuaris a internet.



Il·lustració 6.2: Microprocessador Genuino-Arduino UNO

Actuadors: els actuadors són tots els aparells que poden incidir o actuar directament sobre allò que es vol controlar. Els actuadors del sistema són els següents:

- **Relé:** funciona com un interruptor controlat per un circuit electrònic, serveix per a activar aparells amb tensions més altes que les que pot oferir el microprocessador. En el nostre projecte els farem servir per a connectar les fonts de calor al processador i poder-les controlar.



Il·lustració 6.3: Placa amb 2 relés per a Arduino

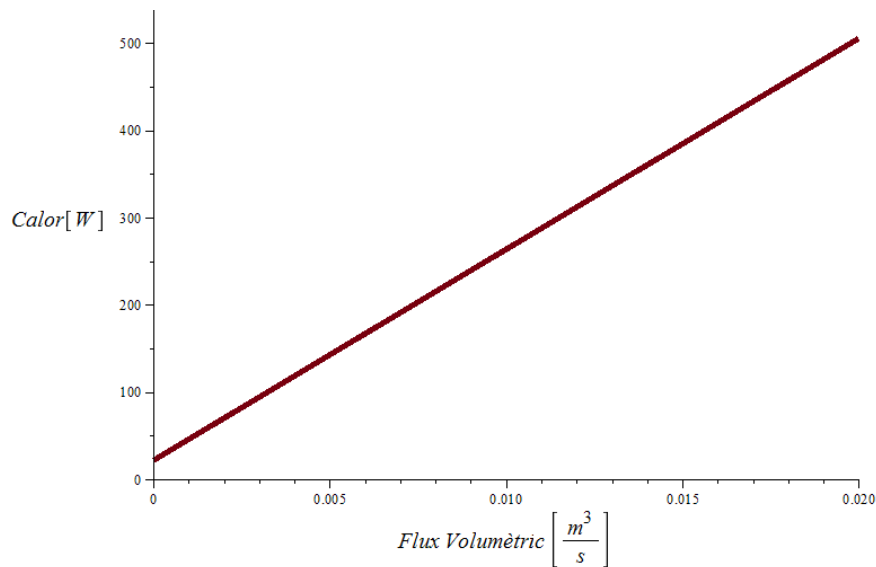
- **Servomotor:** és un tipus de motor elèctric amb una caixa d'engranatges incorporada que fa que tingui més força i menys velocitat. Per al nostre projecte, un servomotor de 12V ja és suficient per a moure el mecanisme. Tot i que sigui de més de 5V, podem alimentar-lo directament amb 12V i connectar la sortida de control directament al controlador.



Il·lustració 6.4: Servomotor

- **Ventilador:** és el component encarregat de crear un flux d'aire en el sistema que regula també el flux de calor i humitat.

Els càlculs de transmissió de calor s'han desenvolupat en bona part en funció del flux d'aire. En el gràfic següent es pot observar la potència necessària per a mantenir les temperatures en funció del flux d'aire. Si s'incrementa el flux d'aire les fonts han de produir més calor per satisfer els requisits.



Il·lustració 6.5: Calor necessària que han de produir les fonts, en funció del cabal volumètric.

Per a l'aplicació del present treball, és suficient un ventilador de 12 volts de 60x60 mm que produeixen un flux volumètric d'uns 0.014 m³/s. En aquestes condicions, el consum es situa prop de 400W.



Il·lustració 6.6: Ventilador per a PC

- **Humidificador:** Aparell d'ultrasons connectat a una reserva d'aigua mitjançant un tub de plàstic. El sistema de humidificació assegura un bon augment de la concentració d'aigua a l'ambient. Aquest tipus d'humidificador funciona perfectament amb una tensió de 12V i solen ser equips de baix cost. Per incorporar-lo al sistema, s'haurà de connectar a un relé que actuï com a interruptor.



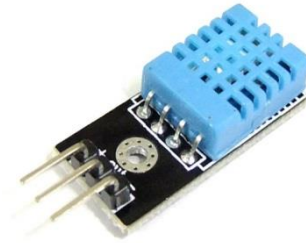
Il·lustració 6.7: Humidificador d'ultrasons

- **Font de calor:** Per al sistema de calefacció s'ha optat per a recórrer a 4 bombetes de 100W de llum infraroja agrupades elèctricament en dos grups: font1 de 200W i font2 de 200W. En total ($200W + 200W = 400W$). D'aquesta manera es pot regular d'una manera més suau i eficient la temperatura en comparació amb un sol bloc de 400W. Val a dir que la transmissió de calor a l'aire per radiació infraroja no és el mètode més eficient. El mètode més efectiu seria escalfar l'aire per convecció fent-lo circular a través d'una xarxa de resistències elèctriques, però aquest segon mètode és més complicat i més car i es desvia de l'objectiu principal d'aquest projecte.



Il·lustració 6.8: Llum infraroja 100W

- **Sensors:** són components electrònics capaços de transmetre informació sobre l'ambient en forma elèctrica. En aquest projecte usarem sensors que ofereixen lectures tant de temperatura com d'humitat.



Il·lustració 6.9 : Sensor DHT11

6.2. Comportament del sistema

Seguidament s'elaboren unes taules de veritats que relacionen la informació captada pels sensors amb el estat dels actuadors. Això permetrà determinar les condicions que s'implementaran més endavant al controlador.

Per a fer les taules s'han fet servir uns valors arbitraris per a facilitar la comprensió, però els valors definitius seran configurats per l'usuari en el moment d'ús.

Taula 1: Taula de veritats Humitat

| H | Humidificador |
|------------|---------------|
| $H < 80\%$ | 1 |
| $80\% < H$ | 0 |

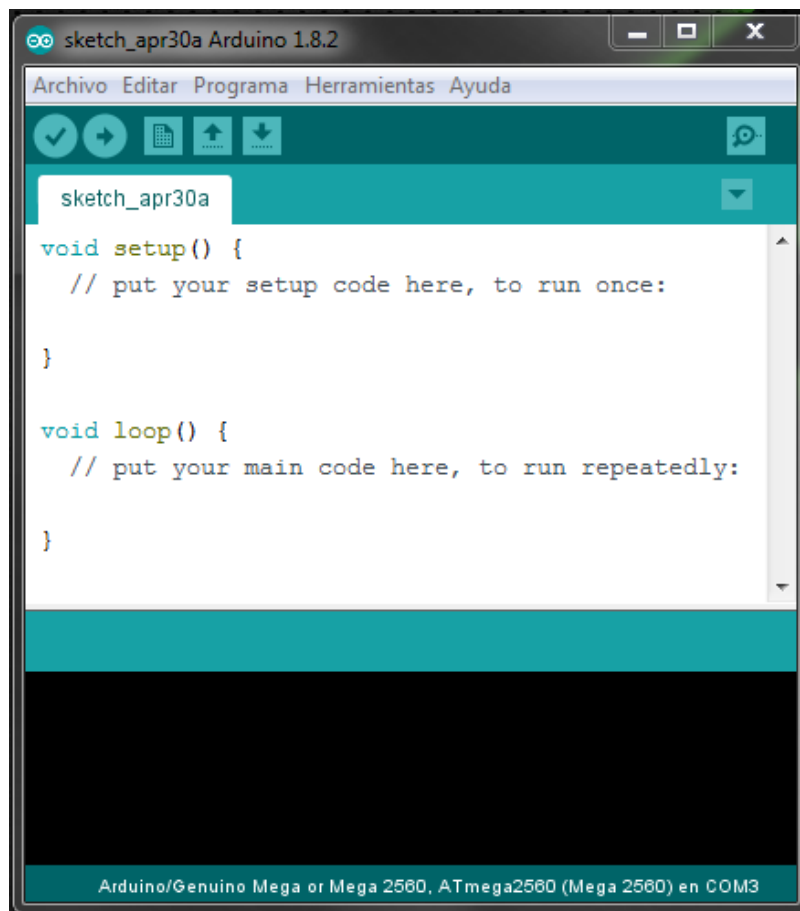
Taula 2: Taula de Veritats Temperatura

| T1 | T2 | Ventilador | Font 1 | Font 2 | Representació Gràfica |
|----------------|----------------|------------|--------|--------|-----------------------|
| $T1 < 37$ | $T2 < 34$ | 1 | 1 | 1 | |
| $T1 < 37$ | $34 < T2 < 35$ | 1 | 1 | 1 | |
| $T1 < 37$ | $34 < T2$ | 0 | 1 | 1 | |
| $37 < T1 < 38$ | $T2 < 34$ | 1 | 1 | 1 | |
| $37 < T1 < 38$ | $34 < T2 < 35$ | 0 | 1 | 0 | |
| $37 < T1 < 38$ | $35 < T2$ | 0 | 1 | 0 | |
| $38 < T1$ | $T2 < 34$ | 1 | 1 | 0 | |
| $38 < T1$ | $34 < T2 < 35$ | 1 | 1 | 0 | |
| $38 < T1$ | $35 < T2$ | 0 | 0 | 0 | |

A la dreta de la taula es mostra la representació gràfica de la situació: el color blau representa la temperatura massa baixa, el groc indica la temperatura correcta i el vermell la temperatura massa alta.

7. Informàtica

Un cop decidida la resposta automàtica, cal programar el controlador per tal de indicar-li quines funcions ha de realitzar. Per a programar-lo, s'ha fet servir el IDE (*Integrated Development Environment*) oficial d'Arduino³, disponible de forma lliure al web oficial [8]. Aquesta web conté, a més de nombrosos recursos 2.0, un fòrum públic on milers d'usuaris proposen projectes i estan en contacte per a crear una xarxa mundial d'afecionats i professionals que compateixen lliurement les seves idees.



Il·lustració 7.1: IDE oficial d'arduino.

³ Els entorns de programació són un conjunt d'eines que permeten als programadors desenvolupar els seus programes. En el cas d'Arduino hi ha un IDE oficial que permet escriure, editar, compilar (verificar si hi ha cap error i traduir el llenguatge c++ a codi màquina) i gravar el programa a la memòria del microprocessador.

7.1. Estructura general de un *sketch* d'Arduino

Un programa dissenyat per a executar-se en un Arduino, anomenat *sketch* es compon de tres seccions principals:

- **Secció declaració de variables:** s'ubica al principi del *sketch*. Aquesta secció és reservada per a escriure totes les variables que es faran servir en el programa indicant-ne el tipus de dada que ha d'emmagatzemar (nombre enter, booleà, caràcter, cadena de caràcters...), el nom de la variable i si es vol es pot especificar també un valor inicial per a la variable. En aquesta secció també es poden especificar les llibreries que volem incloure al nostre *sketch* i que ens permetran afegir al llenguatge Arduino un conjunt de funcions ja definides.
- **Secció void `setup()`:** aquesta secció només s'executarà una sola vegada al inici del *sketch*. Això implica que les instruccions que hi escrivim només s'executaran una sola vegada quan iniciem el aparell. Normalment el seu ús es destina a realitzar les configuracions inicials.
- **Secció void `loop()`:** aquesta secció en canvi, s'executarà infinites vegades fins que apaguem l'aparell o li fem un reset. Les instruccions dins de la secció void `loop`, són de fet el programa en sí, que estarà funcionant contínuament i de forma repetida.

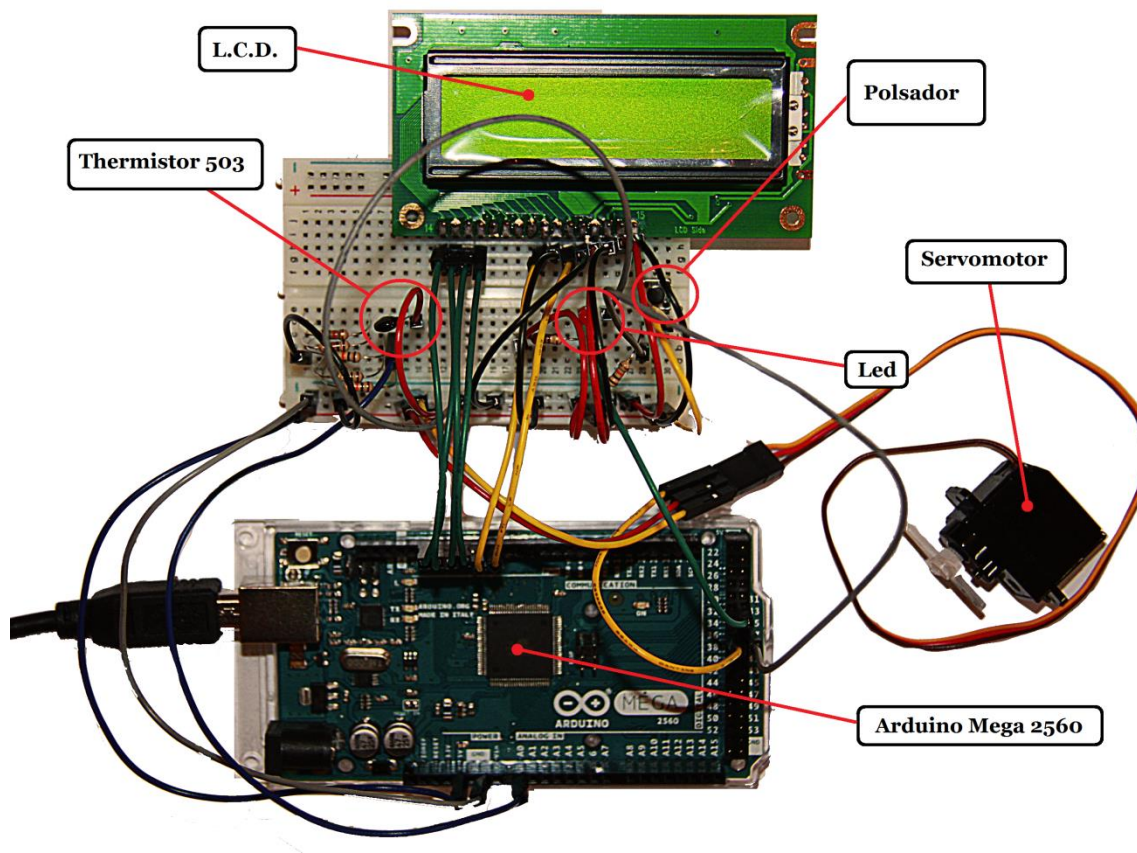
El programa, independentment del microprocessador usat o el llenguatge de programació, ha de ser capaç de funcionar de la següent manera:

Si l'usuari prem el botó de configurar durant 3 segons; demanar a l'usuari que introdueixi la temperatura; demanar a l'usuari que introdueixi la humitat; demanar a l'usuari que decideixi si vol volteig; Si hi ha volteig, demanar a l'usuari que introdueixi el temps entre volteigs; Mostrar missatge de confirmació; Llegir els sensors de temperatura; Mostrar lectura de temperatura al LCD; avaluar les condicions de temperatura; llegir sensor de humitat; mostrar lectura de humitat al LCD; avaluar les condicions de humitat; comprovar si toca girar els ous; si toca girar els ous, comprovar la posició actual del servomotor, si no excedeix el límit; moure el servomotor 180º; sinó, canviar el sentit del servomotor, i moure el servomotor 180º; mostrar un compte enrere fins al proper gir.

Per a realitzar el programa d'una manera més còmoda i satisfactòria, s'ha optat per provar-ne els diferents aspectes durant el procés de construcció.

Amb un processador, una pantalla LCD, un servomotor, un LED, un pulsador i alguns elements electrònics bàsics, es pot comprovar que el programa realitzi totes les funcions correctament sense haver de tenir tots i cadascun dels elements del sistema final.

En la següent il·lustració podem veure el muntatge electrònic utilitzat per al desenvolupament del programa informàtic del projecte:



Il·lustració 7.2: Muntatge electrònic de proves.

7.2. Programa Informàtic del controlador de la incubadora

La primera part del programa està dedicada a la inclusió de les llibreries necessàries per afegir noves funcions al llenguatge. En el present cas s'ha afegit la llibreria *LiquidCrystal.h* per a treballar millor amb una pantalla LCD, la llibreria *Servo.h* per a controlar el servomotor i la llibreria *DHT.h* per a poder processar les dades provinents d'un sensor de temperatura i humitat model DHT11.

```
/*=====
  Inclusió de Llibreries
=====*/
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11 , 12);

#include <Servo.h>
Servo servo;

#include <DHT.h> //cargamos la librería DHT
#define DHTPIN 2 //Seleccionamos el pin en el que se //conectará el sensor
#define DHTTYPE DHT11 //Se selecciona el DHT11 (hay //otros DHT)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Se inicia una variable que será usada por Arduino para comunicarse con el sensor
```

Seguidament declara les variables que s'han anat afegint al llarg del *sketch*.

```
/*=====
  Declaració de Variables
=====*/
float T1; float T1set=35;
float T2; float T2set=22;
float H; float Hset=80;
float histeresi=0.5;

int horesgir=1,minutsgir=30,horesrestantsgir=0,minutsrestantsgir=0;
unsigned long mintotals;
boolean marca=false,servoactiu=false; int graus=150;

unsigned long inicicont;
byte digital[]={30,31,32,33,34}; //pins de sortida digital (0Font1,1Font2,2Ventilador,3Humidificador,4Servo)
byte botons[]={35,36,37}; //pins per als pulsadors (config,sumar,restar)
byte sensor=0; //pin per als sensor (T2)
int i=0; unsigned long tactual=0,tcanvi=0;

boolean estatBoto=0,estatBotol=0,estatBoto2=0; boolean jaPulsat=false; //variables per a detectaconfig
```

A la funció setup s'inicien la pantalla lcd, el servomotor i el sensor dht11. a més s'especifica a quins pins de la placa arduino aniran connectats.

```
/*=====
  Funció de setup
=====*/
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  dht.begin(); //Se inicia el sensor
  servo.attach(digital[4]); //declarem el pin per al servomotor
  for(i=0;i<=2;i++){pinMode(botons[i],INPUT);} //declaració dels pins dels botons com a inputs
  for(i=0;i<=4;i++){pinMode(digital[i],OUTPUT);} //declaració dels pins dels actuadors com a outputs
}
```

Seguidament s'inicia la funció *loop()*. La primera instrucció serà comprovar si l'usuari està polsant el botó de configuració durant uns segons. En cas afirmatiu es mostrarà la pantalla de configuració de la incubadora.

```
/*=====
   Funció de loop
   =====*/
void loop() {
  //comprovem si l'usuari prem el botó config durant 3 segons
  if(detectaconfig()==true){
```

La primera pantalla de configuració permetrà seleccionar la temperatura desitjada a la cambra d'incubació d'ous. Mentre no es polsi un altre cop el botó de configuració, es repetiran les instruccions del *while* . Un cop dins el bucle, es detecta si l'usuari prem un dels dos botons per a augmentar o reduir el valor de temperatura desitjat. Llavors es mostra a la pantalla l'estat actual de selecció.

```
//mostrem el menu per a la temperatura 1
while(jaPulsat==false){
//detecta la pulsació de boto
  estatBoto1=digitalRead(botons[1]); delay(20); estatBoto1reb=digitalRead(botons[1]);
  //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
  if(estatBoto1==estatBoto1reb){
    if(estatBoto1==HIGH){T1set++;}}

  estatBoto2=digitalRead(botons[2]); delay(20); estatBoto2reb=digitalRead(botons[2]);
  //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
  if(estatBoto2==estatBoto2reb){
    if(estatBoto2==HIGH){T1set--;}}

  //mostra la pantalla de configuracio de temperatura
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Configuracio");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Temp.1:");lcd.print(T1set);lcd.print("C");
  delay(500);
  lcd.clear();

  estatBoto=digitalRead(botons[0]);
  if(estatBoto==true){jaPulsat=true;}
} jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);
```

En polsar el botó de configuració es tornà a demanar el mateix però per a la temperatura de la cambra de cria on hi ha els pollets nounats,

```
//mostrem el menu per a la temperatura 2
while(jaPulsat==false){
//detecta la pulsació de boto
    estatBoto1=digitalRead(botons[1]); delay(20); estatBoto1reb=digitalRead(botons[1]);
    //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
    if(estatBoto1==estatBoto1reb){
        if(estatBoto1==HIGH){T2set++;}

        estatBoto2=digitalRead(botons[2]); delay(20); estatBoto2reb=digitalRead(botons[2]);
        //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
        if(estatBoto2==estatBoto2reb){
            if(estatBoto2==HIGH){T2set--;}

            //mostra la pantalla de configuracio de temperatura
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Configuracio");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print("Temp.2:");lcd.print(T2set);lcd.print("C");
            delay(500);
            lcd.clear();

            estatBoto=digitalRead(botons[0]);
            if(estatBoto==true){jaPulsat=true;}
        } jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);
```

Per a la humitat es segueix la mateixa estructura de codi que incorpora un sistema per evitar el rebot analògic⁴.

```
//mostrem el menu per a la humitat
while(jaPulsat==false){
    //detecta la pulsació de boto
//detecta la pulsació de boto
    estatBoto1=digitalRead(botons[1]); delay(20); estatBoto1reb=digitalRead(botons[1]);
    //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
    if(estatBoto1==estatBoto1reb){
        if(estatBoto1==HIGH){Hset++;}

        estatBoto2=digitalRead(botons[2]); delay(20); estatBoto2reb=digitalRead(botons[2]);
        //es llegeix dos cops per eviar el rebot analogic
        if(estatBoto2==estatBoto2reb){
            if(estatBoto2==HIGH){Hset--;}

            if(Hset<0){Hset=0;}


```

⁴ Aquest fenomen succeeix quan s'accionen els polsadors i aquests reboten durant un temps produint senyals no desitjades. Aquest problema es pot solucionar comparant l'estat del botó dues vegades amb uns mil·lisegons de diferència. Si són diferents indica un estat de rebot i no s'executarà el codi fins que no siguin iguals. [11]


```

//mostra la pantalla de configuracio de humitat
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Configuracio");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Humitat:");lcd.print(Hset);lcd.print("%");
delay(500);
lcd.clear();

estatBoto=digitalRead(botons[0]);
if (estatBoto==true) {jaPulsat=true;}
} jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);

```

Per al servomotor es segueix una estructura semblant, però el que es demana en un principi és si l'usuari desitja que el gir automàtic estigui activat o desactivat, en el cas que estigui activat, es procedirà a demanar cada quant temps es vol activar.

```

//Preguntem si el usuari vol configurar el SERVO
while(jaPulsat==false){
  //detecta la pulsació de boto
  estatBoto1=digitalRead(botons[1]);
  estatBoto2=digitalRead(botons[2]);
  if (estatBoto1==HIGH) {servoactiu=true;}
  if (estatBoto2==HIGH) {servoactiu=false;}

  //mostra la pantalla de configuracio de HORES
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Activar servo?");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Servo:");lcd.print(servoactiu);
  delay(500);
  lcd.clear();

  estatBoto=digitalRead(botons[0]);
  if (estatBoto==true) {jaPulsat=true;}
}
if(servoactiu==true){
jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);

```

Si l'usuari decideix activar el servomotor, se li demana que introdueixi cada quantes hores vol que hi hagi un gir automàtic.

```
//si el usuari activa la configuració del servo, mostrem la pantalla de configuracio de H
while(jaPulsat==false){
    //detecta la pulsació de boto
    estatBoto1=digitalRead(botons[1]);
    estatBoto2=digitalRead(botons[2]);
    if(estatBoto1==HIGH){horesgir++;}
    if(estatBoto2==HIGH){horesgir--;}
    if(horesgir<0){horesgir=0;}

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Config Servo");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Hores:");lcd.print(horesgir);lcd.print("h");
    delay(500);
    lcd.clear();

    estatBoto=digitalRead(botons[0]);
    if(estatBoto==true){jaPulsat=true;}
} jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);
```

El mateix procediment es segueix per als minuts,

```
//mostrem la pantalla de configuracio de MINUTS per al SERVO
while(jaPulsat==false){
    //detecta la pulsació de boto
    estatBoto1=digitalRead(botons[1]);
    estatBoto2=digitalRead(botons[2]);
    if(estatBoto1==HIGH){minutsgir++;}
    if(estatBoto2==HIGH){minutsgir--;}
    if(minutsgir<0){minutsgir=0;}

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Config Servo");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Minuts:");lcd.print(minutsgir);lcd.print("m");
    delay(500);
    lcd.clear();

    estatBoto=digitalRead(botons[0]);
    if(estatBoto==true){jaPulsat=true;}
}
jaPulsat=false;estatBoto=digitalRead(botons[0]);
```

I finalment es mostra un missatge de guardat amb èxit, es fa una pausa del sistema i seguidament s'inicia el comptador. En aquest punt ja es surt de la pantalla de configuració.

```
//mostrem el missatge de guardat
  lcd.print("Guardat correctament");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  inicicount=millis(); //resetejo el contador
}
```

Si no s'ha pulsat el botó de configuració durant uns segons es fan les lectures dels sensors de temperatura, humitat i es mesura el temps per al comptador del servo.

```
else{
  //es fan les lectures dels sensors i es va mostrant els resultats cada uns 10 segons
  T1=temperatura1();
  T2=temperatura2(sensor);
  H=humitat();
  //s'activa el contador del temps que falta per girar els ous en cas que el servo estigui a posició 0
  tactual=millis(); contador();
}
```

Ara, s'aniran mostrant successivament cada 10 segons les diferents lectures dels sensors juntament amb el valor que hagi configurat l'usuari.

```
if (tactual-tcanvi<10000) {  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Temp.1:");lcd.print(T1);lcd.print("C");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Set to:");lcd.print(T1set);lcd.print("C");  
    if(marca1==false){lcd.clear();marca1=true;}delay(500);}
  
if (tactual-tcanvi>=10000&&tactual-tcanvi<20000) {  
    marca1=false;  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Temp.2:");lcd.print(T2);lcd.print("C");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Set to:");lcd.print(T2set);lcd.print("C");  
    if(marca2==false){lcd.clear();marca2=true;}delay(500);}
  
if (tactual-tcanvi>=20000&&tactual-tcanvi<30000) {  
    marca2=false;  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Humitat:");lcd.print(H);lcd.print("%");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Set to:");lcd.print(Hset);lcd.print("%");  
    if(marca1==false){lcd.clear();marca1=true;}delay(500);}
```

Per a mostrar el servo, hem de poder mostrar dues opcions de missatge: un, per a quan el servomotor es troba actiu, que es mostra un compte enrere del temps que falta fins al proper gir, juntament amb el valor establert per l'usuari.

L'altre opció és per a quan el servomotor ha estat desactivat, llavors s'ha de mostrar un missatge que ho indiqui.

```
if (tactual-tcanvi>=30000&&tactual-tcanvi<40000&&servoactiu==true) {  
    marca1=false;  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Gir en: ");lcd.print(horesrestantsgir);lcd.print("h");  
    lcd.print(minutsrestantsgir);lcd.print("m");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Set to: ");lcd.print(horesgir);lcd.print("h");  
    lcd.print(minutsgir);lcd.print("m");  
    if(marca2==false){lcd.clear();marca2=true;}delay(500);}
  
if (tactual-tcanvi>=30000&&tactual-tcanvi<40000&&servoactiu==false) {  
    marca1=false;  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Servo Desactivat");lcd.print(horesrestantsgir);  
    if(marca2==false){lcd.clear();marca2=true;}delay(500);}
```

```
if(tactual-tcanvi>=40000){tcanvi=tactual;marca1=false;marca2=false;}
```

Després d'haver fet les lectures dels sensors, el programa compara els valors obtinguts amb els valors introduïts per l'usuari i executa l'acció corresponent a cada situació.

En aquest apartat s'implementen i s'executen les condicions provinents de l'estudi de l'automàtica per a aquest sistema. En acabat es tanca la secció *void loop()*

```
//afegim les condicions de temperatura i el comportament del sistema
if (T1<(T1set-histeresi)&&T2<(T2set-histeresi)){Font1On();Font2On();VentOn();}
else if (T1<(T1set-histeresi)&&(T2set-histeresi)<T2<(T2set+histeresi)){Font1On();Font2On();VentOn();}
else if (T1<(T1set-histeresi)&&T2>(T2set+histeresi)){Font1On();Font2On();VentOff();}

else if ((T1set-histeresi)<T1<(T1set+histeresi)&&T2<(T2set-histeresi)){Font1On();Font2On();VentOn();}
else if ((T1set-histeresi)<T1<(T1set+histeresi)&&(T2set-histeresi)<T2<(T2set+histeresi)){Font1On();Font2Off();VentOn();}
else if ((T1set-histeresi)<T1<(T1set+histeresi)&&T2>(T2set+histeresi)){Font1On();Font2Off();VentOff();}

else if (T1>(T1set+histeresi)&&T2<(T2set-histeresi)){Font1On();Font2Off();VentOn();}
else if (T1>(T1set+histeresi)&&(T2set-histeresi)<T2<(T2set+histeresi)){Font1On();Font2Off();VentOn();}
else if (T1>(T1set+histeresi)&&T2>(T2set+histeresi)){Font1Off();Font2Off();VentOff();}

//afegim les condicions de Humitat i el comportament del sistema
if(H<Hset){HumidOn();}else{HumidOff();}

//afegim les condicions amb les que s'activa el servo
if(mintotals<=0){marca=true;}
if(marca==true&&servoactiu==true){
  ActivaServo( graus, 180 - graus);
  graus = 180 - graus;
  marca=false; }
```

Finalment, s'enumeren i es defineixen les funcions del programa.

Les funcions de temperatura depenen de cada sensor, les que aquí s'enumeren són per al sensor model DHT11 i per a el termistor model 503.

```
/*=====
   Funció temperatura 1 DHT11
   =====*/
float temperatura1(){T1=dht.readTemperature(); return T1;}

/*=====
   Funció humitat DHT11
   =====*/
float humitat(){H=dht.readHumidity();return H;}

/*=====
   Funció temperatura 2
   =====*/
float temperatura2(int ThermistorPin){
  int Vo;float R1 = 10000;float logR2, R2;float c1 = 1.009249522e-03, c2 = 2.378405444e-04, c3 = 2.01
  Vo = analogRead(ThermistorPin);
  R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1.0);
  logR2 = log(R2);
  T2 = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2)); //en kelvin
  T2 = T2 - 273.15; //en celcius
  //T = (T * 9.0) / 5.0 + 32.0; //en fahrenheit
  return T2;}
```

Per als actuadors, les següents funcions ordenen al controlador que proporcioni una tensió de 5V o 0V depenent de si es vol donar un valor Alt o Baix a una sortida digital determinada.

```
/*=====
Funció per encendre Actuadors
=====*/
void Font1On() {digitalWrite(digital[0],HIGH);}
void Font2On() {digitalWrite(digital[1],HIGH);}
void VentOn() {digitalWrite(digital[2],HIGH);}
void HumidOn() {digitalWrite(digital[3],HIGH);}

/*=====
Funció per apagar Actuadors
=====*/
void Font1Off() {digitalWrite(digital[0],LOW);}
void Font2Off() {digitalWrite(digital[1],LOW);}
void VentOff() {digitalWrite(digital[2],LOW);}
void HumidOff() {digitalWrite(digital[3],LOW);}
```

Per a detectar si l'usuari polsa el botó de configuració durant uns segons, el que es fa és un comptador que mesura el temps en el moment que l'usuari polsa el botó i llavors va comptant fins que passa un temps determinat, llavors es posa una marca i es retorna un valor booleà.

```
/*=====
Funció per detectar config
=====*/
boolean detectaconfig() {
    unsigned long inici;
    estatBoto=digitalRead(botons[0]);
    //di el boto esta pulsat pero abans no ho estava, inicio el contador
    if(estatBoto==HIGH&&jaPulsat==false){inici=millis(); jaPulsat=true;}
    //si el botó está marcat com a pulsat des de fa 3 segons...
    if(jaPulsat==true&&(millis()-inici>=3000)){jaPulsat=false;return true;}
    if(estatBoto==LOW){jaPulsat=false; return false;}
}
```

Per al comptador del gir dels ous, es fa una operació matemàtica senzilla. En primer lloc, es pren el valor de les hores i els minuts que l'usuari ha introduït prèviament, seguidament es passa tot a minuts i es fa la suma. Finalment es realitza un compte enrere dels minuts totals i a cada moment es passa el valor a hores i minuts i es guarden els valors en variables separades.

```
/*=====
Funció contador
=====*/
void contador(){
    if(servoactiu==true){
        mintotals=horesgir*60+minutsgir-(millis()-inicicont)/1000/60;
        minutsrestantsgir=mintotals%60;
        horesrestantsgir=mintotals/60;
        if(mintotals<=0){inicicont=millis();}
    }}
}
```

Finalment es defineix la funció encarregada del gir del servo. El que fa aquesta funció és prendre la posició inicial i la posició final de l'eix del servomotor i es compara amb un valor preestablert de manera que si la posició actual es menor que la final es gira en sentit horari i, si és inferior, es canvia el sentit de gir.

```
/*=====
Funció per moure ous
=====*/
void ActivaServo(int grausIni, int grausFin){
    if (grausIni < grausFin){
        for( int x=grausIni; x < grausFin; x++){
            servo.write( x );
            delay(20);}
        }else{
            for( int x=grausIni; x >= grausFin; x--){
                servo.write( x );
                delay(20);}
            }
        }
    }
```

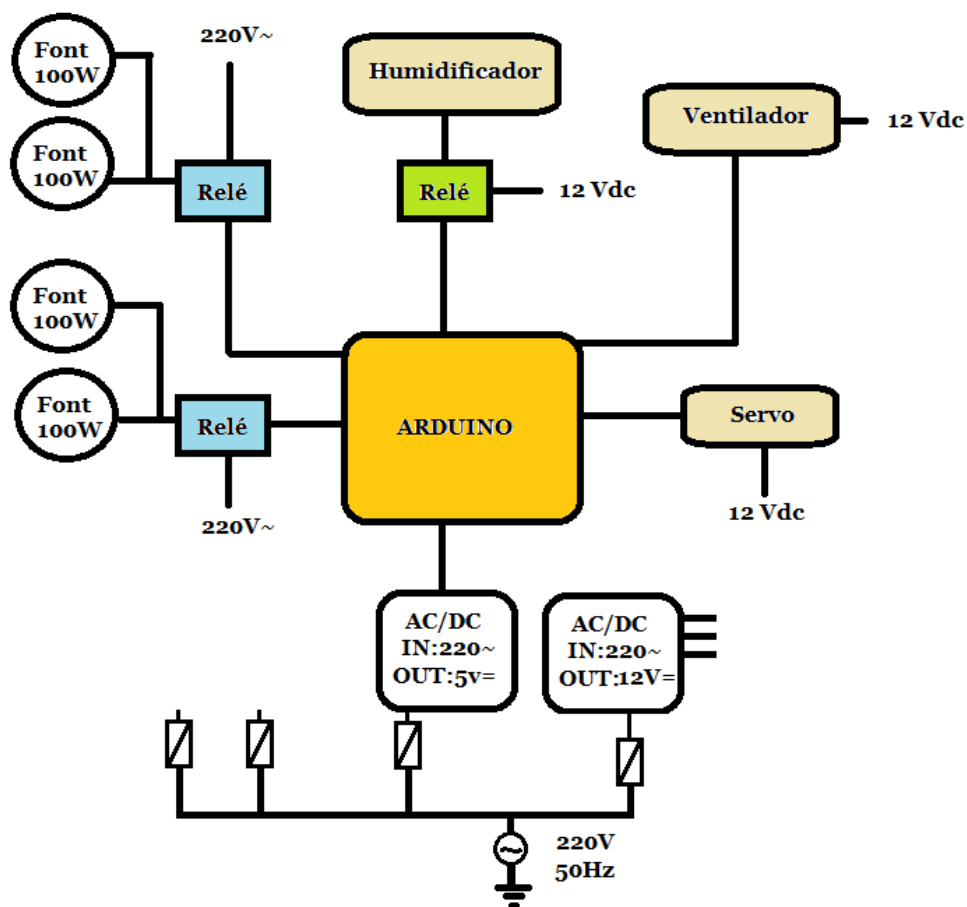
8. Electricitat

En quant a la part elèctrica, s'haurà de disposar de dos transformadors rectificadors. Aquests aparells transformen el corrent altern de 220V de la línia a 5V i 12V de corrent continu, necessari per a alimentar el microprocessador a 5V i els aparells (humidificador, ventilador, servomotor) a 12V.

Per a poder controlar el comportament dels aparells, cal un parell de relés per a 220V d'alterna que serviran com a interruptor per a les fonts de calor i un relé per a 12V continua per a servir d'interruptor per al humidificador.

El ventilador i el servomotor disposen de 3 cables d'entrada: habitualment groc, vermell i marró. Cal mirar les especificacions del producte, però normalment representen les entrades del pin digital, la tensió positiva (12Vcc) i el terra (GND) respectivament. Per a això, es poden connectar directament a la placa sense fer ús d'un relé extern.

Finalment s'afegeixen fusibles als circuits per a protegir-los de sobrecàrregues.

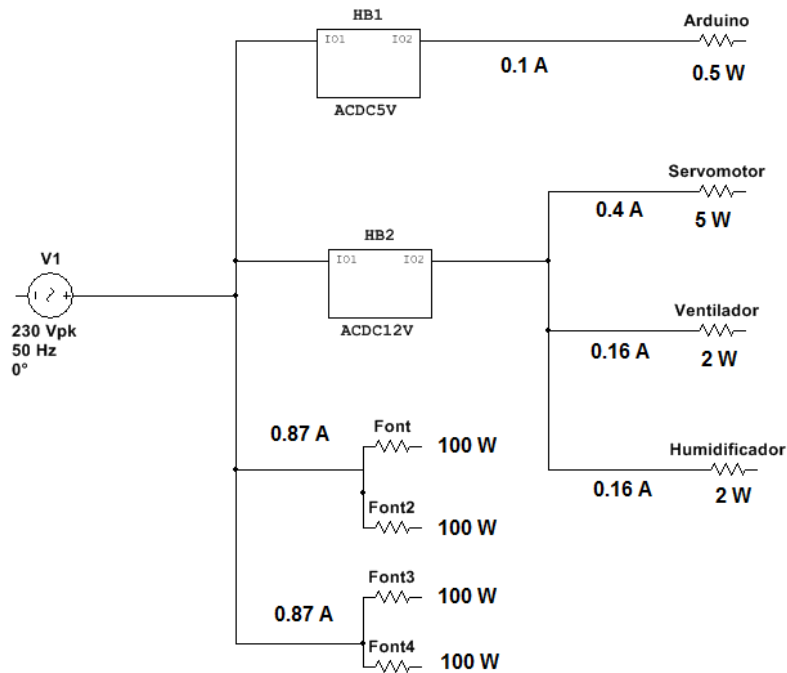


Il·lustració 8.1: Esquema elèctric del sistema.

8.1. Selecció dels conductors

Per a calcular la secció dels cables és necessari calcular quina intensitat circularà per a cada conductor. Per a simplificar els càlculs es suposa que el factor de potència és 1 i s'aplica la llei

d'Ohm per a obtenir les intensitats: $P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$



Il·lustració 8.2: Esquema d'intensitats del circuit elèctric.

Per a trobar la secció del cable no es té en compte la caiguda de tensió ja que la distància de cable usada és de menys de 10m i la caiguda de tensió és de menys de 1V.

S'observa la següent taula normalitzada i es busca la secció adient per al projecte. Com la intensitat màxima del circuit és de 2 A, es pot optar per un cable de tres conductors de 0.51mm^2 de secció a l'entrada i per a les fonts, i cables de 0.32mm^2 per a les connexions del servo, ventilador, humidificador i microcontrolador.

Taula 3: Seccions de cable norma AWG

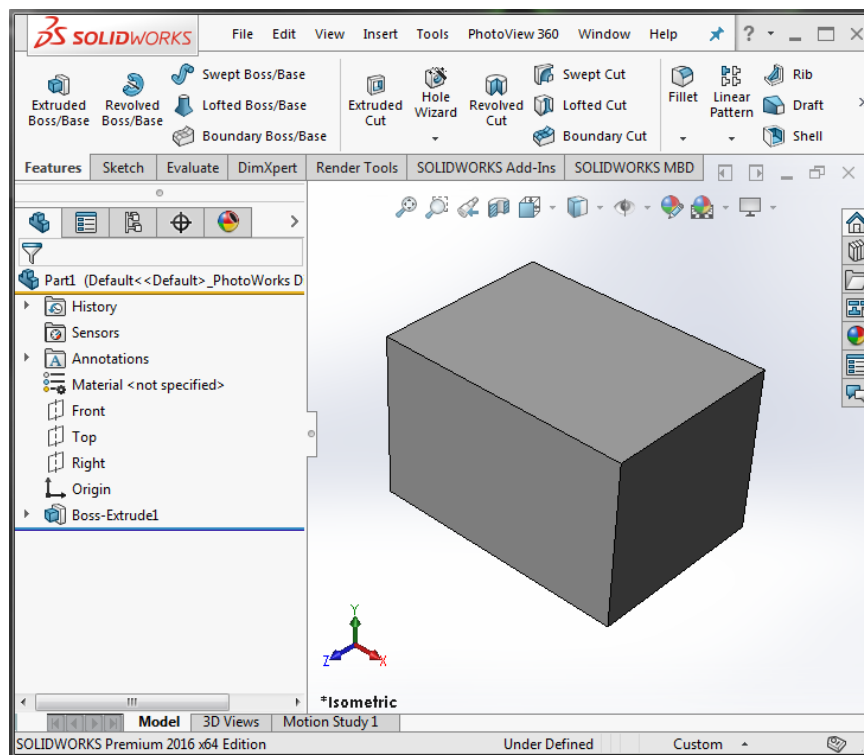
| INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES AISLADOS (SECCIONES AWG) | | | | |
|--|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| TEMPERATURA DE SERVICIO: 60° y 75° C TEMPERATURA AMBIENTE: 30 C | | | | |
| SECCION NOMINAL mm ² | GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO | | GRUPO B TEMPERATURA DE SERVICIO | |
| | 60° C | 75° C | 60° C | 75° C |
| 0.32 | 3 | 3 | — | — |
| 0.51 | 5 | 5 | — | — |
| 0.82 | 7.5 | 7.5 | — | — |

9. Disseny CAD

El disseny físic de la incubadora s'ha fet mitjançant un programa de CAD específic per a el dibuix en 3D de conjunts mecànics d'àmbit industrial: *SolidWorks* 2016 [7].

A partir dels esbossos, els càlculs i els estudis fets prèviament, s'ha construït de forma progressiva un model en 3D que representa el disseny final de la incubadora. A partir d'aquest model, s'ha realitzat els plànols finals de les peces en els quals es detalla tota la informació necessària per a la fabricació i assemblatge del producte.

SolidWorks 2016 conté, a més, eines i simuladors útils per a resoldre altres aspectes d'aquest projecte, com ara calcular els costos del conjunt o bé calcular la petjada ecològica del projecte mitjançant un anàlisi de cicle de vida del producte.



Il·lustració 9.1: Pantalla del programa CAD *SolidWorks*2016.

A més del programa, existeixen a internet nombrosos recursos complementaris per a enginyers i dissenyadors, molts dels quals són de lliure accés, que permeten obtenir models 3D més complets i realistes. Per exemple, el portal *3D ContentCentral*[9].

Aquest portal és una xarxa gratuïta amb una comunitat activa de més de 1,5 milions d'usuaris que comparteixen i descarreguen peces i conjunts en 2D i 3D.



Il·lustració 9.2: Pantalla de 3D Content Central

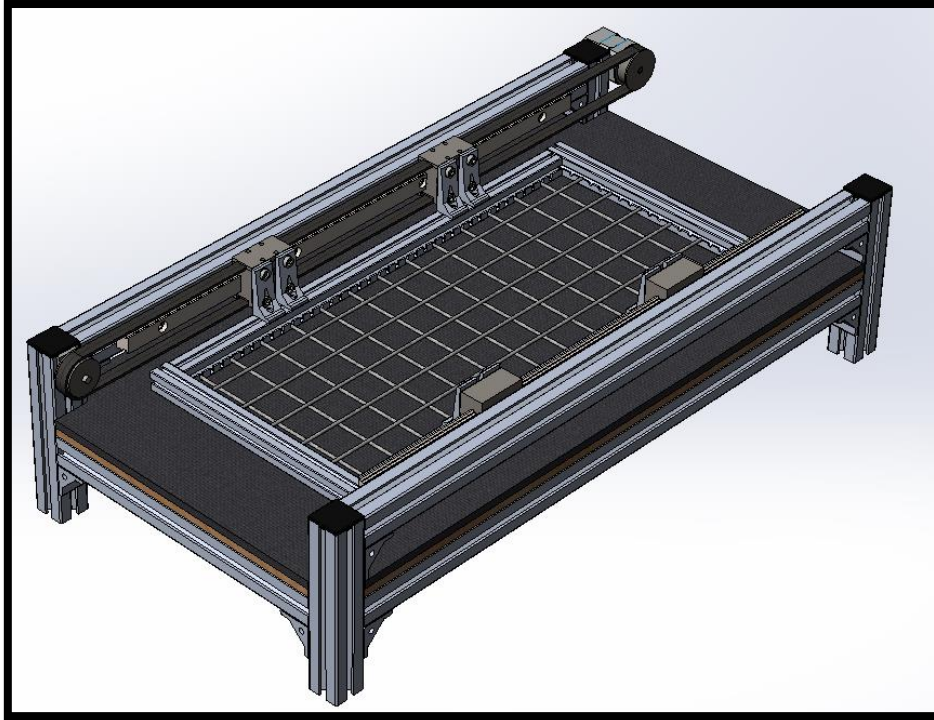
En el model CAD del projecte s’ha fet ús dels següents elements:

Taula 4: Elements extrets de 3D Content Central.

| |
|--------------------------------|
| LCD 2x16 |
| Servomotor |
| VENTILATION INLET 90MM 120X120 |
| PC FAN, 60MM 12V DC |
| TY-145P |
| Relay board 1 |
| Light bulb |

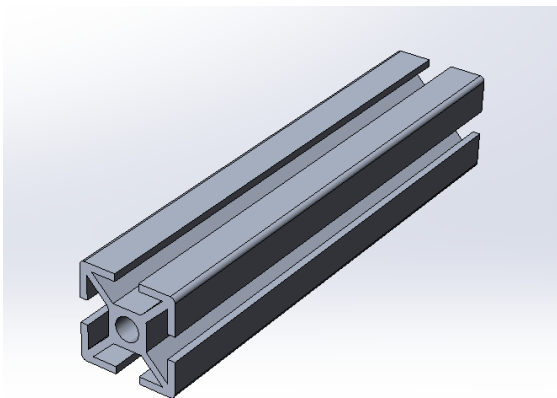
9.1. Sistema de gir i suport d'incubació

El suport d'incubació conforma el sistema de gir dels ous. Consisteix bàsicament en una taula coberta per un material de neoprè on hi descansen els ous, una graella que restringeix els moviments de cada ou i un sistema de moviment lineal basat en una corretja de distribució.



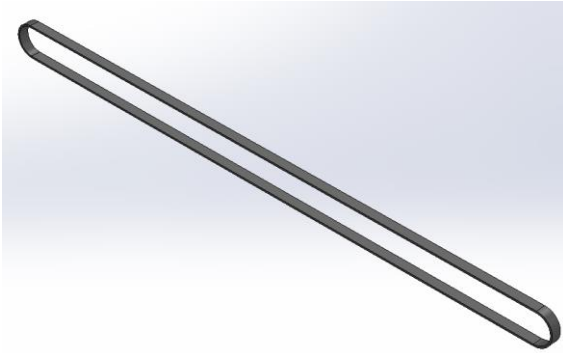
Il·lustració 9.3: Model 3D del sistema de gir i suport d'incubació

Elements individuals:



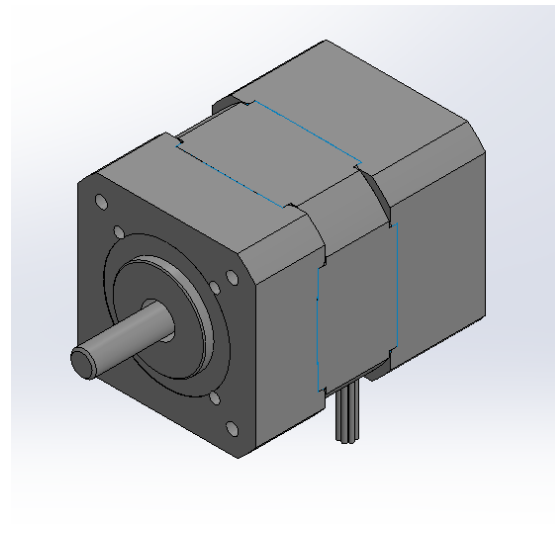
Perfils d'alumini

Els perfils d'alumini extrudit són la millor solució per a fer estructures industrials ja que venen acompanyats de nombrosos sistemes i accessoris que permeten una llibertat de disseny pràcticament sense límits. L'únic inconvenient en el present cas és que l'alumini és un gran conductor de calor. Aquest aspecte però queda pal·liat gràcies a que el perfil no és d'alumini massís i l'aire és un bon aïllant per si mateix. (veure apartat 5.2.).



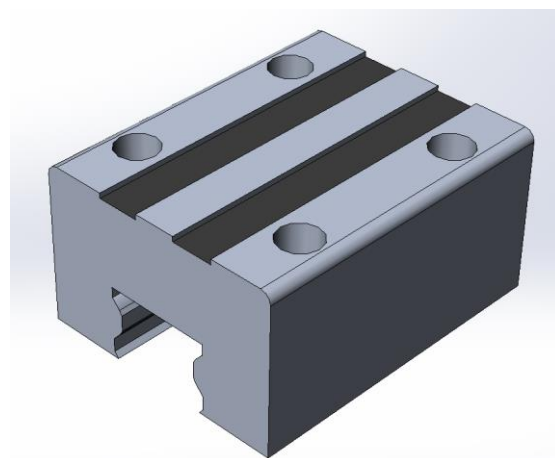
Corretja

Les corretges de distribució permeten transmetre moviment lineal a partir de la rotació de politges i rodets. Estan fetes d'un polímer reforçat amb fibres.



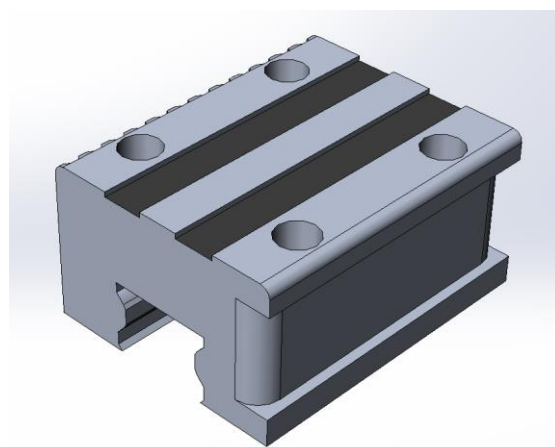
Servomotor

Els servomotors són motors molt potents i precisos que poden ser controlats a partir del microprocessador. (veure apartat 6.1.)
(Model CAD extret de la referència [9]).



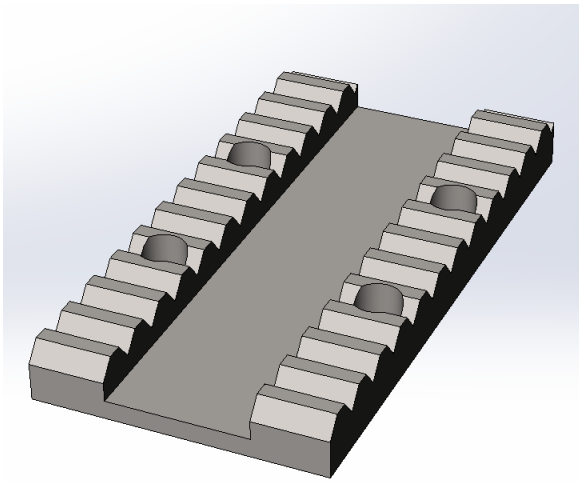
Carro KU25.13

Els carros són les peces que aguanten el pes del quadre i li permeten el moviment lineal. Solen anar fixats al seu rail corresponent.



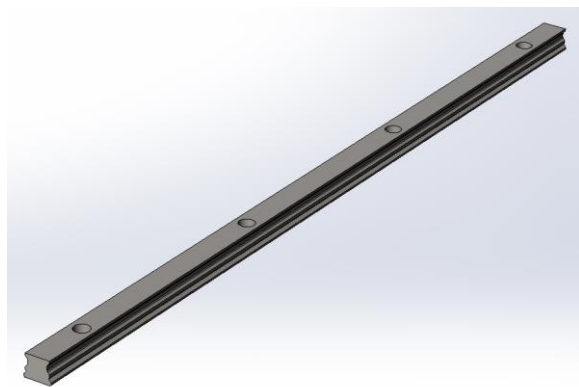
Carro Tractor

El carro tractor és un tipus de carro que transmet el moviment des de la corretja fins al quadre.



Tapa Carro

La tapa és la peça encarregada de fixar el carro tractor a la corretja mitjançant uns cargols.



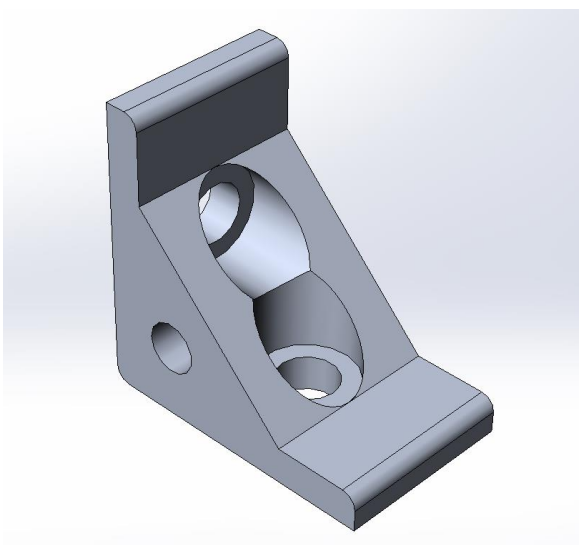
Rail KU 25.10

Els rails són perfils d'acer que fixen els carros a la resta de l'estructura, solen anar fixats amb cargols.



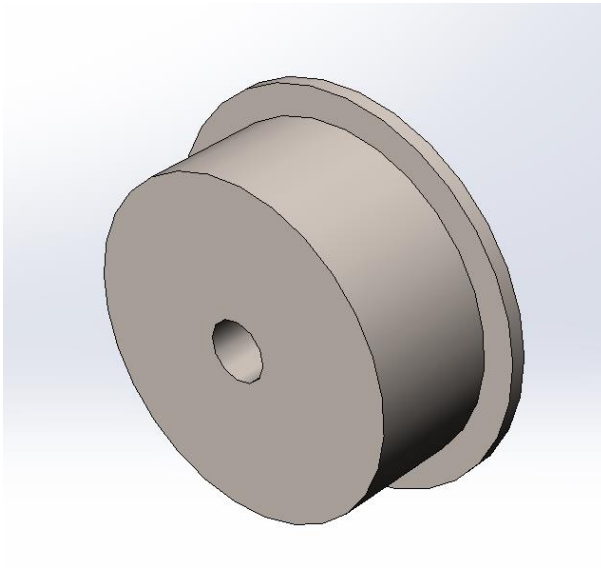
Taula

La taula és la superfície que aguanta el pes dels ous i el reparteix cap a l'estructura d'alumini, ha d'anar recobert amb una capa de neoprè que esmorteix la superfície on reposen els ous durant la incubació.



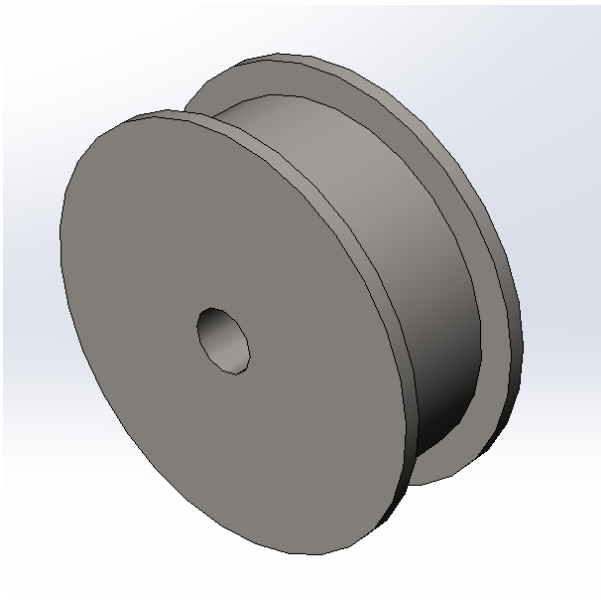
Escaires

L'escaire és un bon recurs usat per a fixar peces perpendiculars que han suportar una certa càrrega, solen adquirir-se com a complements dels perfils.



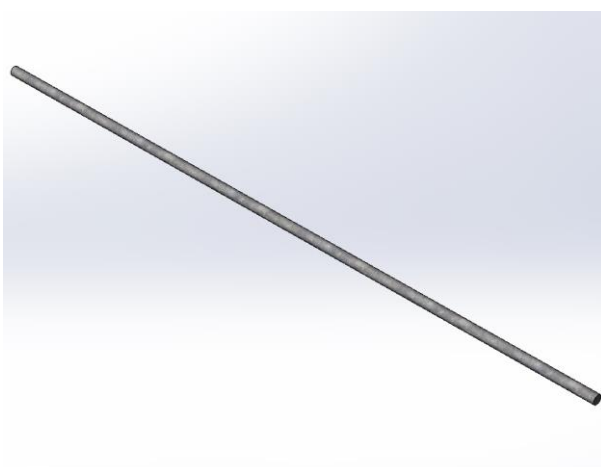
Politja

La politja consisteix en una peça circular que actua com a punt de fixació de la corretja. S'uneix a l'eix mitjançant un coixinet que li permet un moviment de rotació lliure.



Roda Dentada

La roda dentada transmet el moviment de l'eix del servomotor cap a la corretja. Va unit mitjançant una unió restrictiva que la fixa al motor.



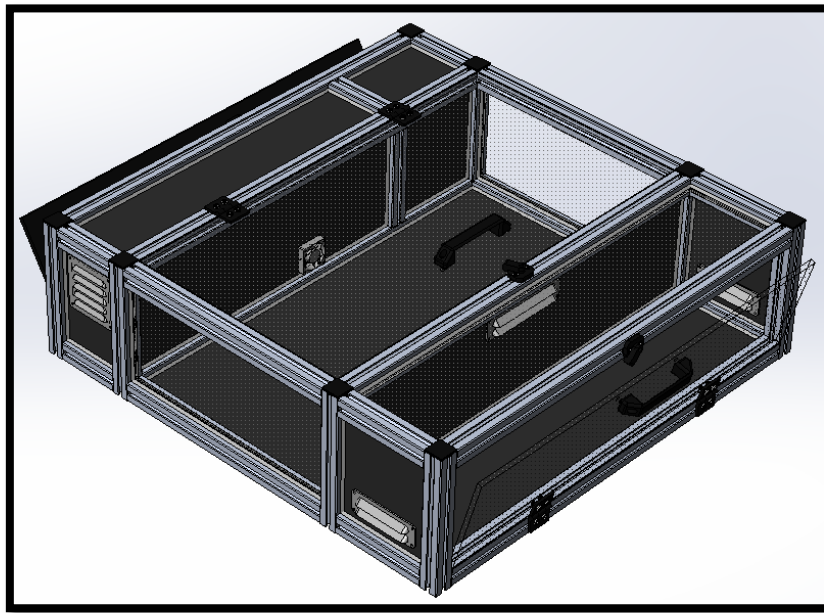
Varetes

Les varetes són cilindres d'acer galvanitzat que s'insereixen a les ranures dels perfils foradats per formar les reixes del quadre, que contenen els ous. N'hi ha de dues mides diferents: les longitudinals i les transversals.

9.2. Estructura Externa

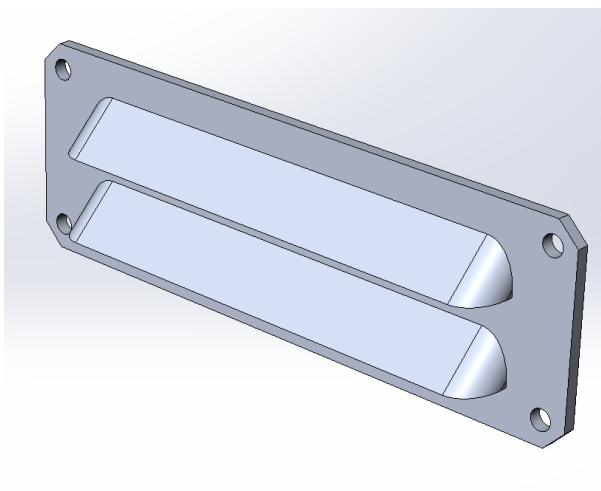
L'estructura externa és el sistema encarregat d'acollir la resta de sistemes i protegir-los de la intempèrie assegurant-ne la estabilitat hídrica, tèrmica i mecànica.

Esta composta per una estructura d'alumini extrudit units entre sí amb components de acoblament interns i panells dobles de material plàstic subjectats mitjançant uns canals.



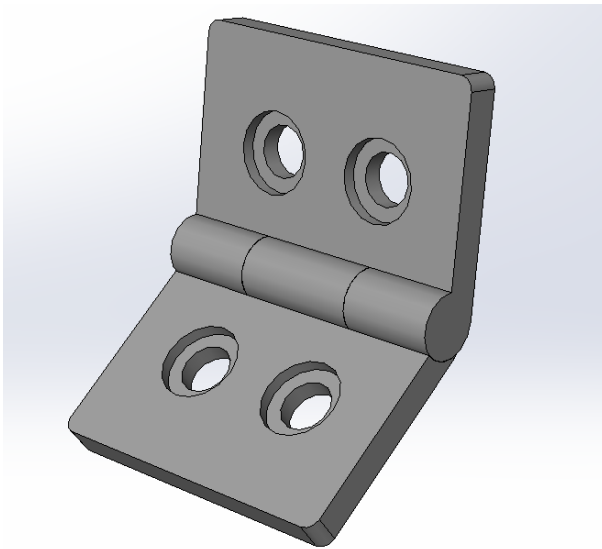
Il·lustració 9.4: Model 3D de l'estructura externa.

Elements individuals:



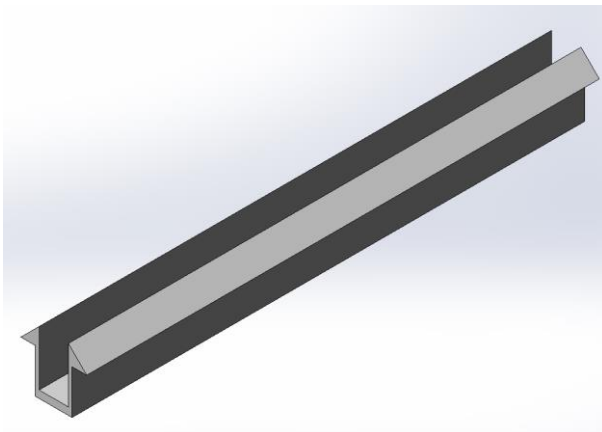
Reixetes

Les reixetes són peces d'acer inoxidable que permeten el flux de corrent d'aire però restringeixen el pas dels objectes més voluminosos.



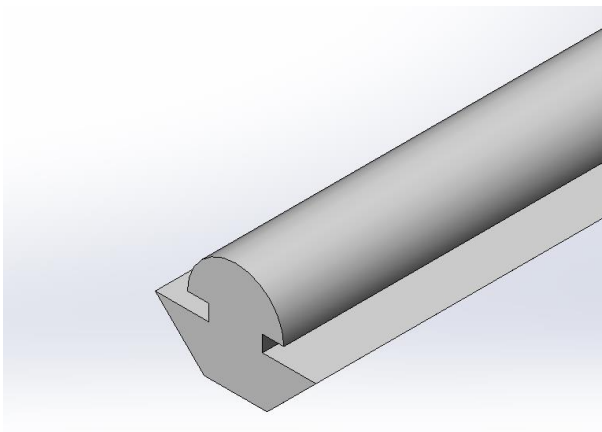
Frontisses

Frontisses de plàstic de poliamida 6 per al suport de les portes, poden ser adquirides com a complements addicionals dels perfils d'alumini extrudit industrial.



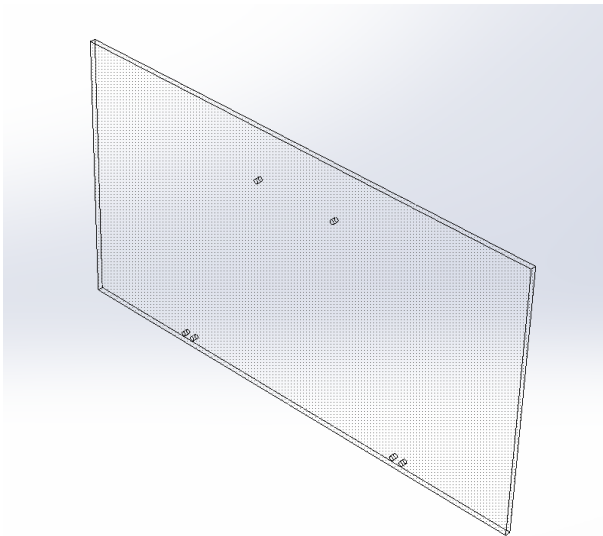
Canal de subjecció dels panells

Els canals de subjecció són peces de material plàstic que van col·locades entremig de les ranures dels perfils d'alumini i allotgen al seu interior els panells, proporcionant-los fixació i estanqueïtat.



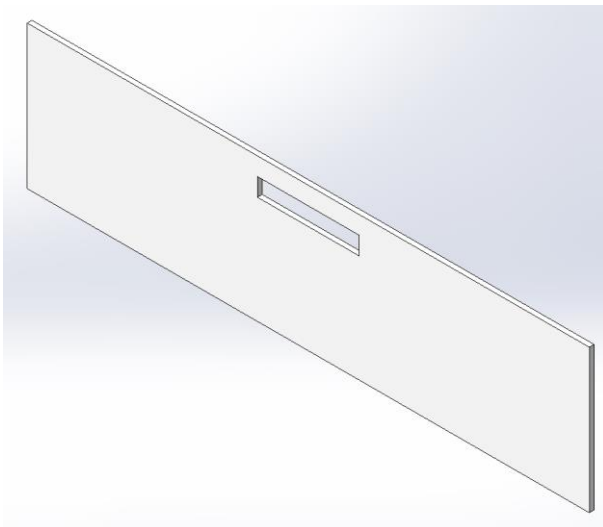
Goma de tancament

Les gomes de tancament s'instal·len entre les ranures dels perfils d'alumini i es col·loquen en els perímetres de les portes per a assegurar el bon tancament i evitar el pas de calor i humitat.



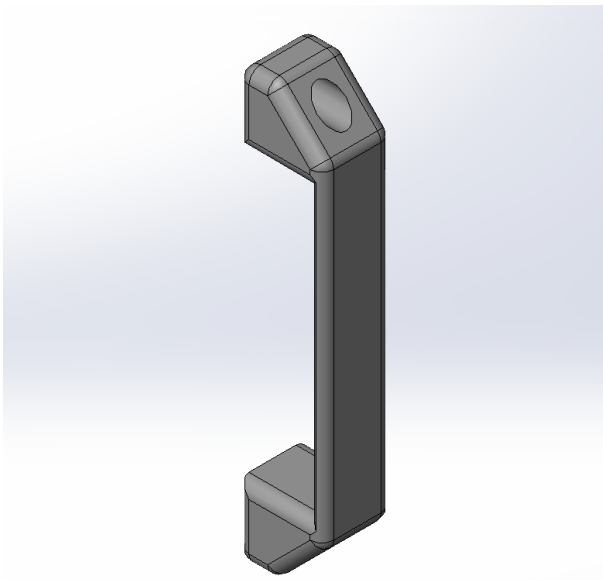
Panells transparents

Panells de plàstic PMMA transparent de doble fulla amb càmera d'aire, poden ser tallats de diferent manera i fer diverses funcions (parets, portes, separadors...) oferint la possibilitat de veure-hi a través. (si es vol informació sobre el criteri de decisió entre panell massís o doble, consulteu l'apartat 5.1).



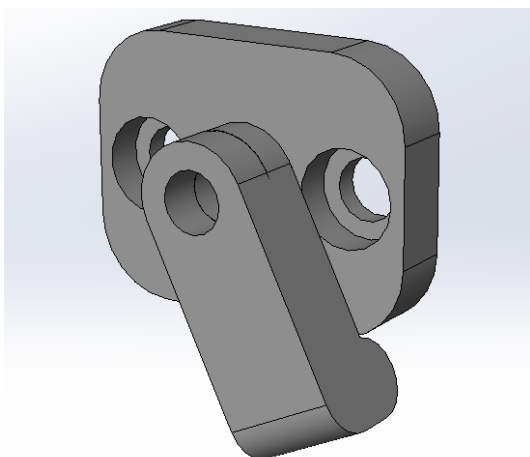
Panells opacs

Panells de plàstic transparent de doble fulla amb càmera d'aire, poden ser tallats de diferent manera i fer diverses funcions (parets, portes, separadors...) el fet que siguin opacs proporciona una bona manera de captar la radiació dels llums infraroigs i transmetre la calor a l'aire.



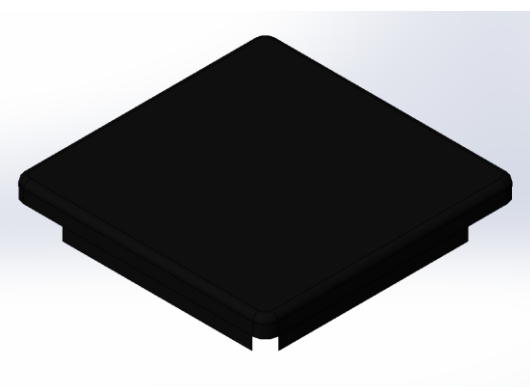
Manetes

Manetes de plàstic de poliamida 6 que poden ser adquirides com a complements dels perfils d'alumini.



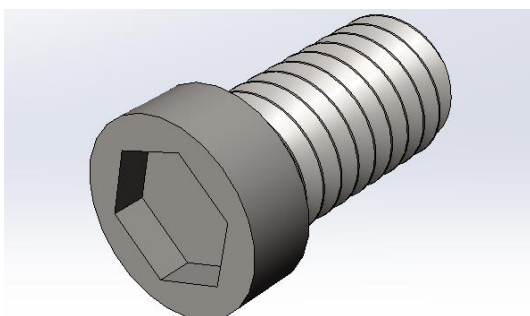
Panys

Panys de plàstic de poliamida 6 perfectes per a tancar les portes de la incubadora que poden ser adquirits com a complements dels perfils d'alumini.



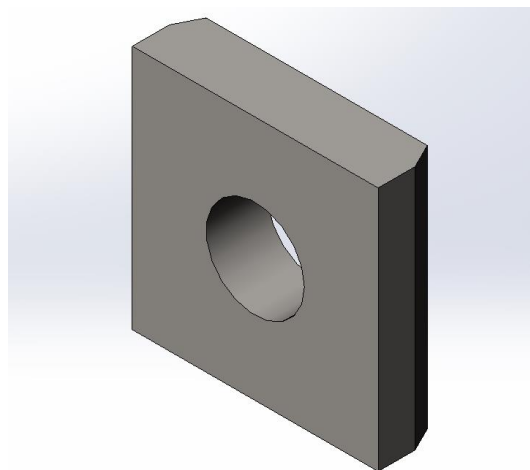
Taps

Taps de plàstic negre per a tapar els perfils d'alumini que poden ser adquirits com a complements dels perfils d'alumini.



Cargols

Cargols de mètric 8 amb cap hexagonal que es pot obtenir de qualsevol proveïdor de material mecànic.

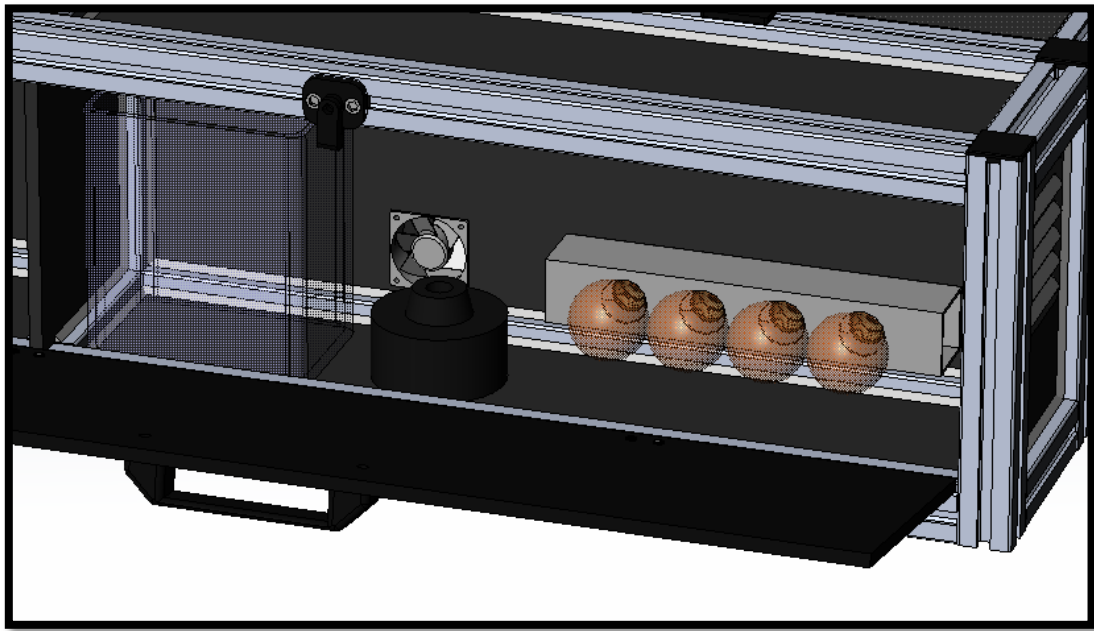


Rosques

Rosques especials de mètric 8 adaptades a les ranures entre els perfils d'alumini, es poden obtenir com a complements dels perfils.

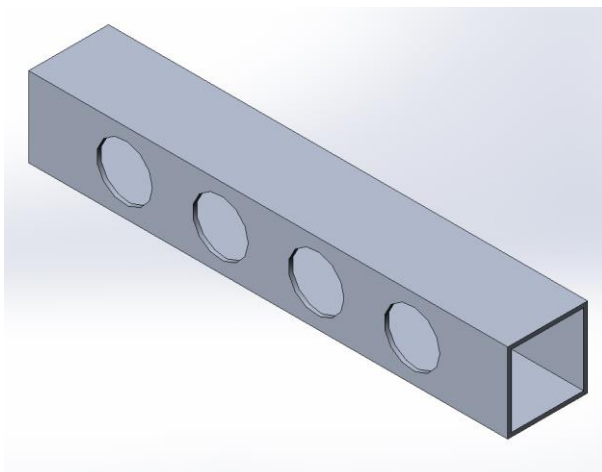
9.3. Cambra de condicionament

La componen els subsistemes dedicats exclusivament a mantenir unes bones condicions de l'aire. Tot i que la majoria dels components es poden adquirir directament del mercat, s'ha volgut afegir el disseny en CAD per a fer el model més complet.



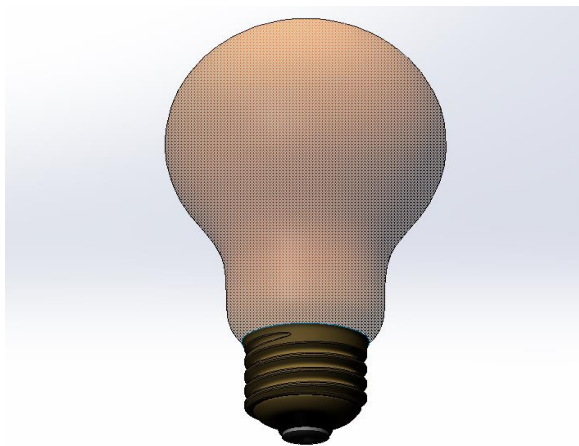
Il·lustració 9.5: Model 3D de la cambra de condicionament de l'aire.

Elements individuals:



Suport Bombetes

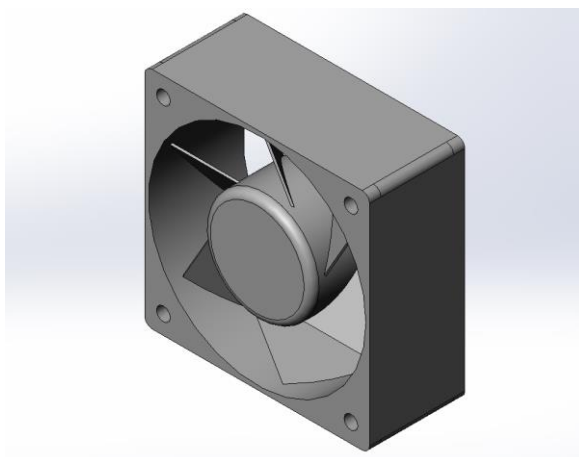
Consisteix en una peça feta de xapa que serveix per al suport de porta làmpades de les bombetes d'infraroigs.



Bombetes

Bombetes de llum infraroja de 100W a 220V que actua com a font de calor per al sistema. Va subjectada al suport (veure apartat 6.1).

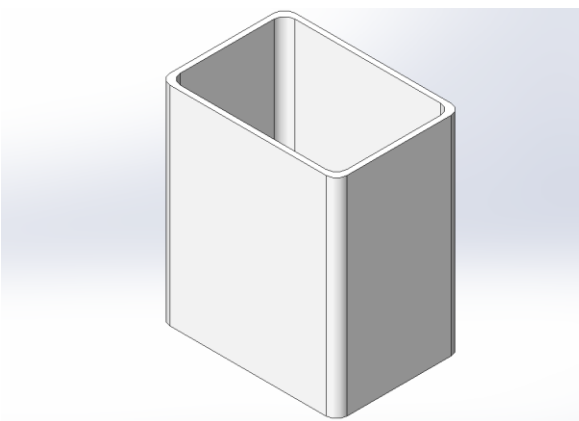
(Model CAD extret de la referència [9]).



Ventilador PC 12V

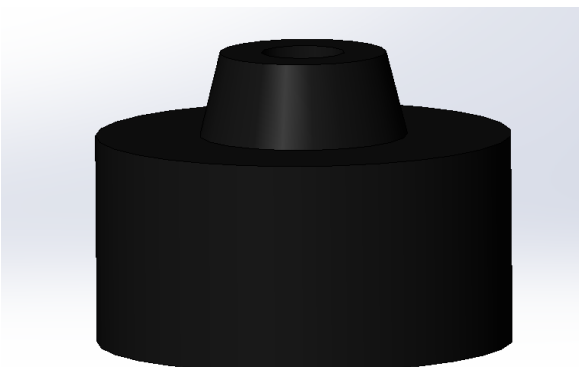
El ventilador de PC proporciona un flux d'aire a través del sistema, repartint de forma homogènia la temperatura i la humitat així com l'entrada d'oxigen per als embrions. (El seu efecte sobre la potència consumida i el seu dimensionament estan detallats al apartat 6.1).

(Model CAD extret de la referència [9]).



Dipòsit d'aigua

Recipient de polipropilè translúcid que actua com a reserva d'aigua per al humidificador.

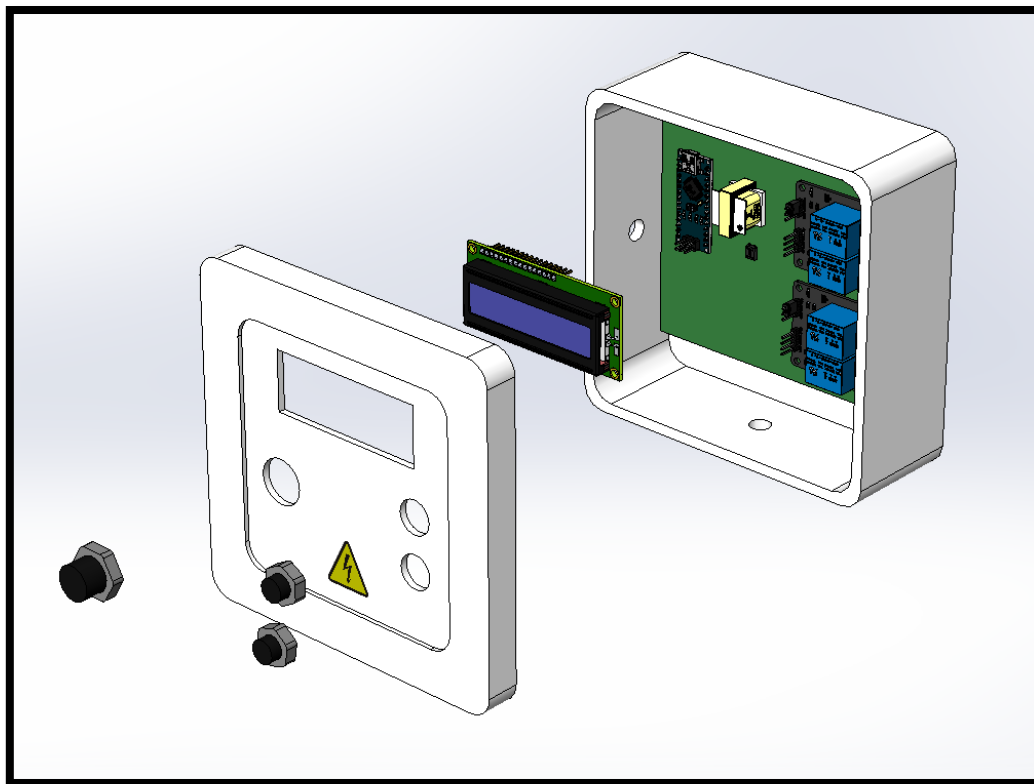


Humidificador

Component elèctric a 12V que vaporitza aigua a l'ambient per tal d'augmentar-ne la humitat relativa. (veure apartat 6.1).

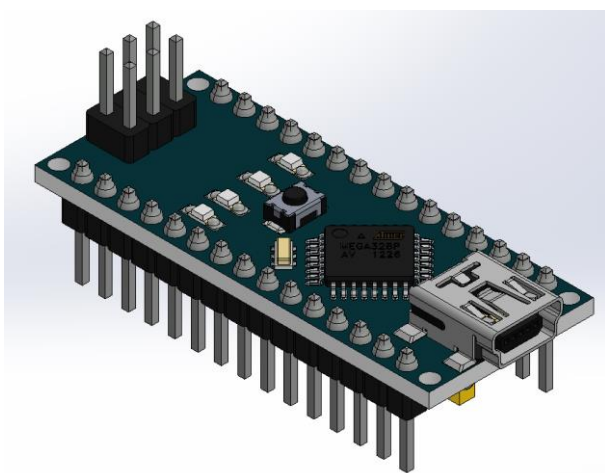
9.4. Caixa elèctrica

La caixa elèctrica fa de suport i protegeix els elements elèctrics i electrònics. A més allotja la pantalla LCD i els botons que permeten la programació de l'aparell. Aquest conjunt s'ubica en un sector dins de la incubadora per a protegir-lo de la intempèrie.



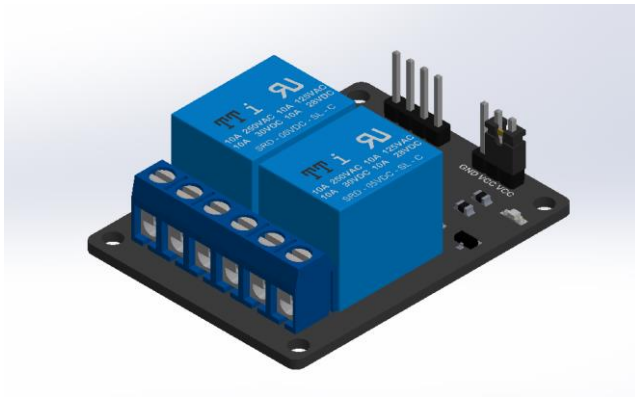
Il·lustració 9.6: Model 3D de la caixa elèctrica.

Elements individuals:



Arduino

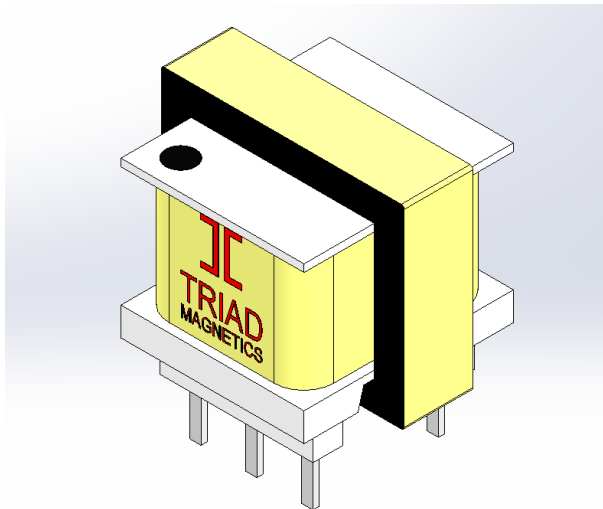
Microprocessador encarregat de controlar totes les funcions del sistema, per a més informació sobre controladors consulteu apartat 6.1. (Model CAD extret de la referència [9]).



Relés

Els relés són interruptors electrònics que permeten controlar aparells que necessiten tensions superiors a 5V.

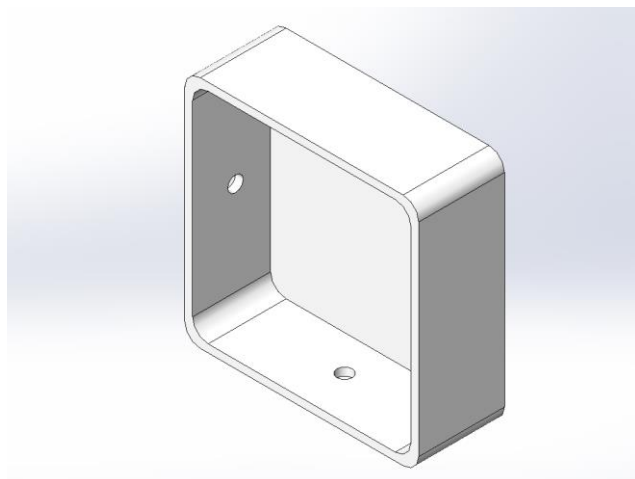
(Model CAD extret de la referència [9]).



Transformador

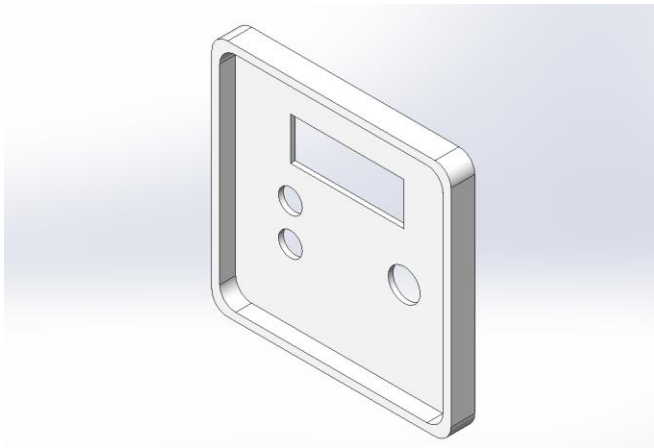
Els transformadors son aparells que permeten transformar l'energia elèctrica de 220V alterns a 5V o 12V de corrent continua.

(Model CAD extret de la referència [9]).



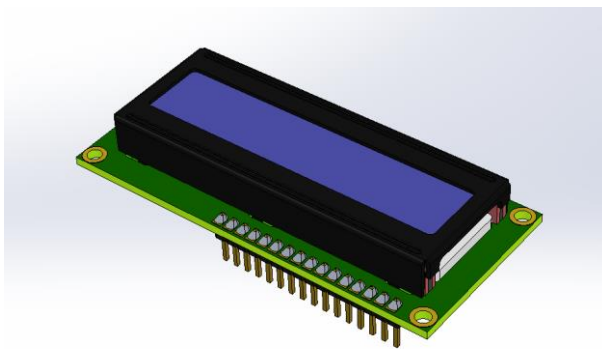
Tapa Inferior

Recipient de plàstic PVC per a contenir aparells electrònics i elèctrics en el seu interior i protegir-los de la humitat i la intempèrie.



Tapa superior

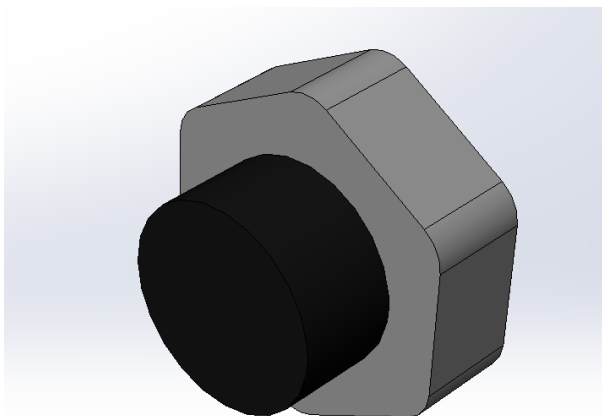
La tapa superior es feta de plàstic PVC per a contenir els aparells electrònics. Conté orificis per a instal·lar-hi la pantalla LCD i els botons per a programar el microcontrolador.



LCD

Pantalla de cristall líquid (Liquid Crystal Display) de dues files de 16 caràcters cada una per a poder visualitzar l'estat del microprocessador així com la informació proporcionada pels sensors.

(Model CAD extret de la referència [9]).



Botons

Polsadors que van muntats a sobre de la tapa i que van connectats al microprocessador. Amb aquests 3 botons l'usuari és capaç de programar i operar totes les funcions del sistema.

10. Materials

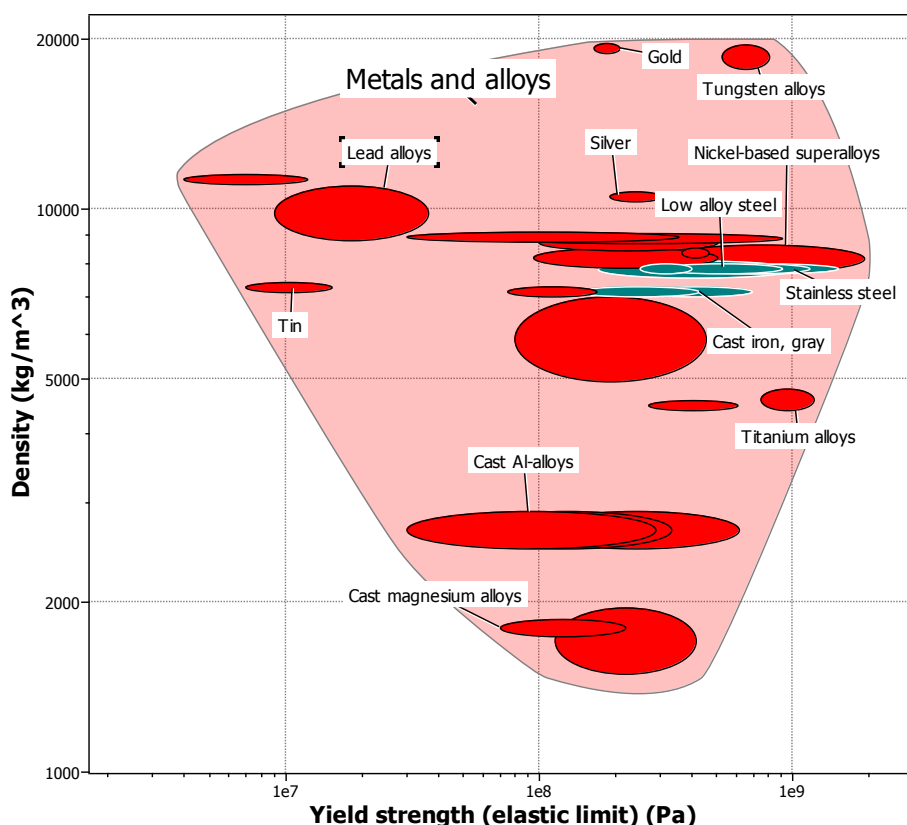
En aquesta secció s'exposen amb detall els materials usats en el projecte i es discuteix els factors rellevants considerats per a fer la selecció.

Com a font d'informació en aquest aspecte del treball, s'ha usat un programa anomenat CES Edu Pack el qual ens permet filtrar materials d'entre una extensa base de dades a partir de les característiques que li demanem. A més, compta amb una extensa enciclopèdia amb informació sobre cada material i les seves aplicacions més habituals.

10.1. Metalls

Els metalls són materials formats per elements químics purs i metàl·lics o bé per mescles anomenats aliatges. Els metalls són generalment brillants, bons conductors tèrmics i elèctrics, amb densitats i punts de fusió alts, dúctils i resistent.

En el següent gràfic podem veure la comparació de diversos metalls i aliatges en quant a la seva densitat i el seu límit elàstic⁵.



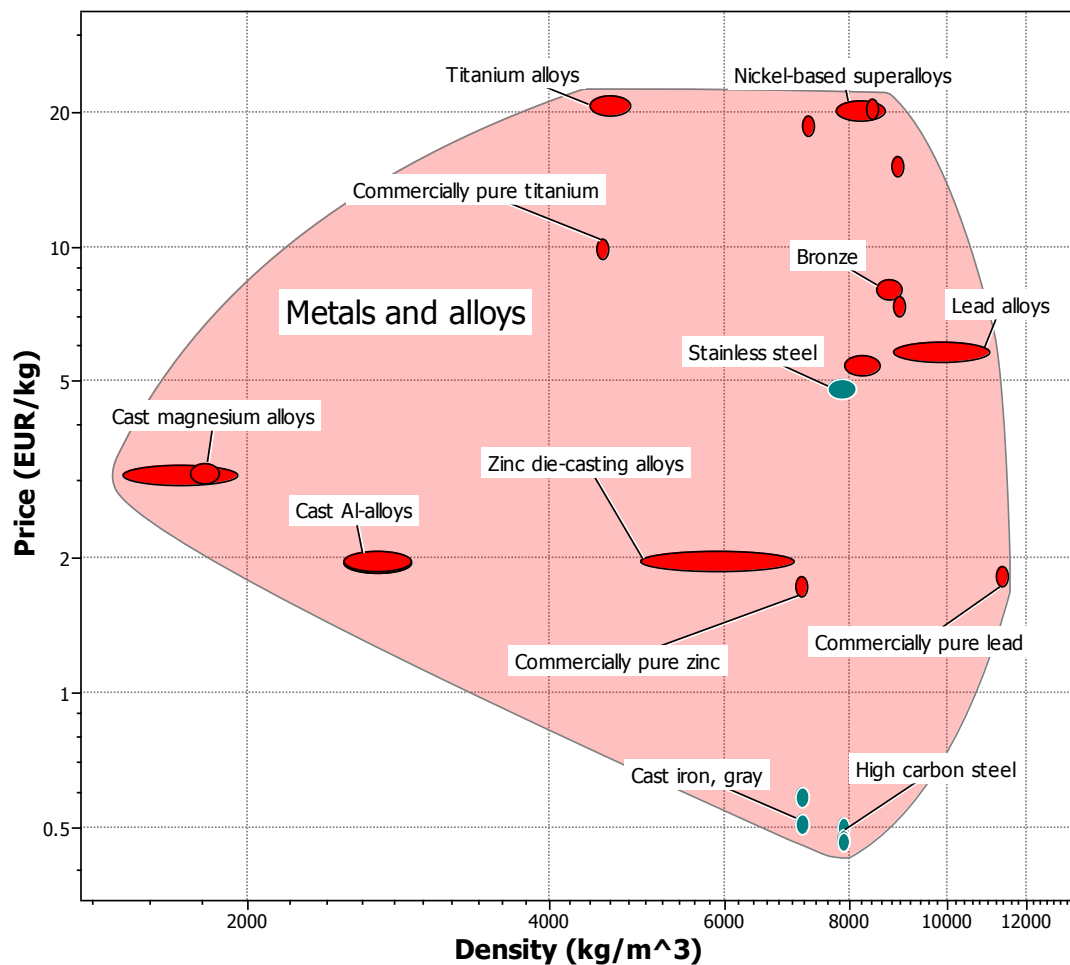
Il·lustració 10.1: Gràfic Densitat - Límit elàstic de diversos metalls (CES Edu Pack)

⁵ El límit elàstic es considera com la tensió màxima que un material pot suportar abans de patir deformacions irreversibles.

Alumini

Hem fet servir l'alumini per a els **perfils** de l'estructura, els **carros**, les **tapes** dels carros i els **escaires** que suportaran el pes de l'estructura. Les propietats que es busca en aquest material són: baixa densitat, bona mecanització i resistència a la corrosió.

En el següent gràfic podem veure la comparativa de diferents metalls en quant a la seva densitat i el seu preu. L'alumini és en aquest aspecte una bona selecció.



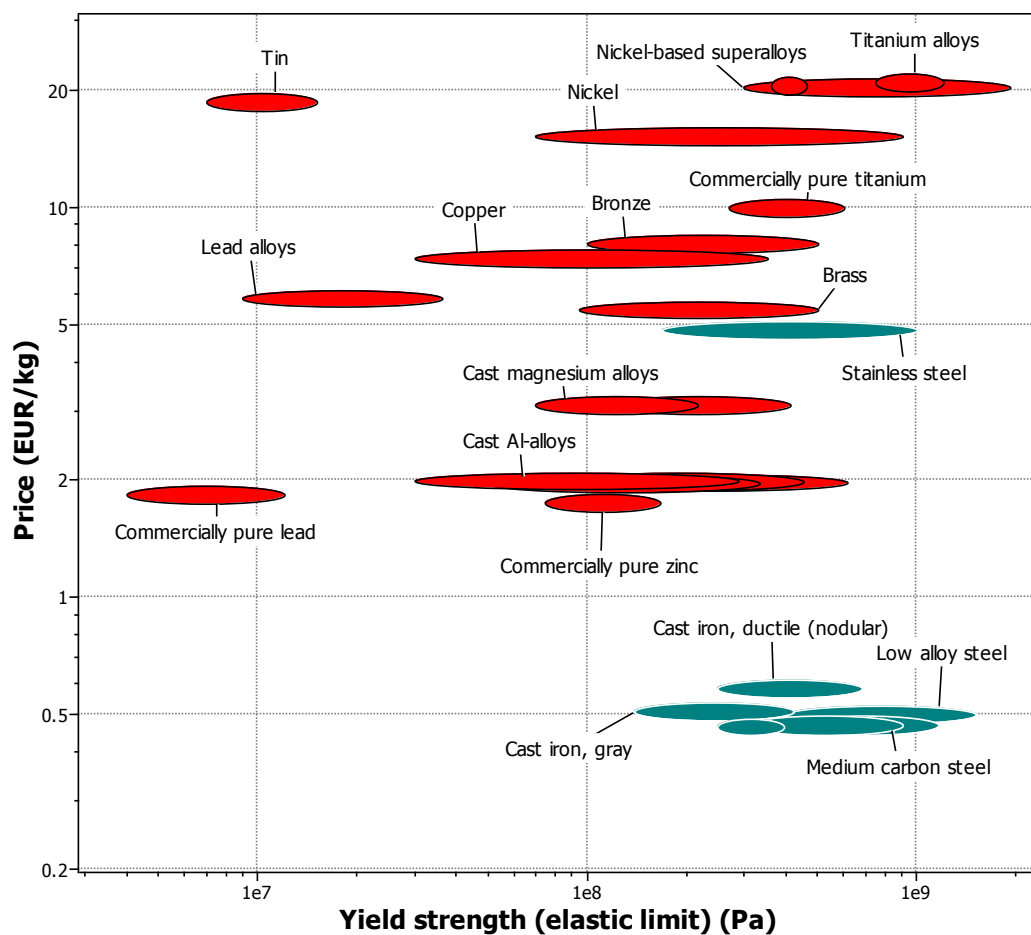
Il·lustració 10.2: Gràfic Preu-Densitat de diversos metalls (CES Edu Pack).

Acer

Hem fet servir acer inoxidable per als **rails** on hi van muntats els carros d'alumini i a les **politges** per a la corretja. Aquests components estan sotmesos a fricció i impactes i en un futur caldrà mecanitzar-los, per aquesta raó un recobriment superficial no és la millor opció. Les propietats que ofereix aquest material són resistència mecànica i a la corrosió.

Les **varetes** per a la reixa de separació dels ous es poden fer amb acer galvanitzat ja que només els demanem resistència a la corrosió.

En el següent gràfic podem veure una comparativa entre el preu i el límit elàstic de diversos metalls.

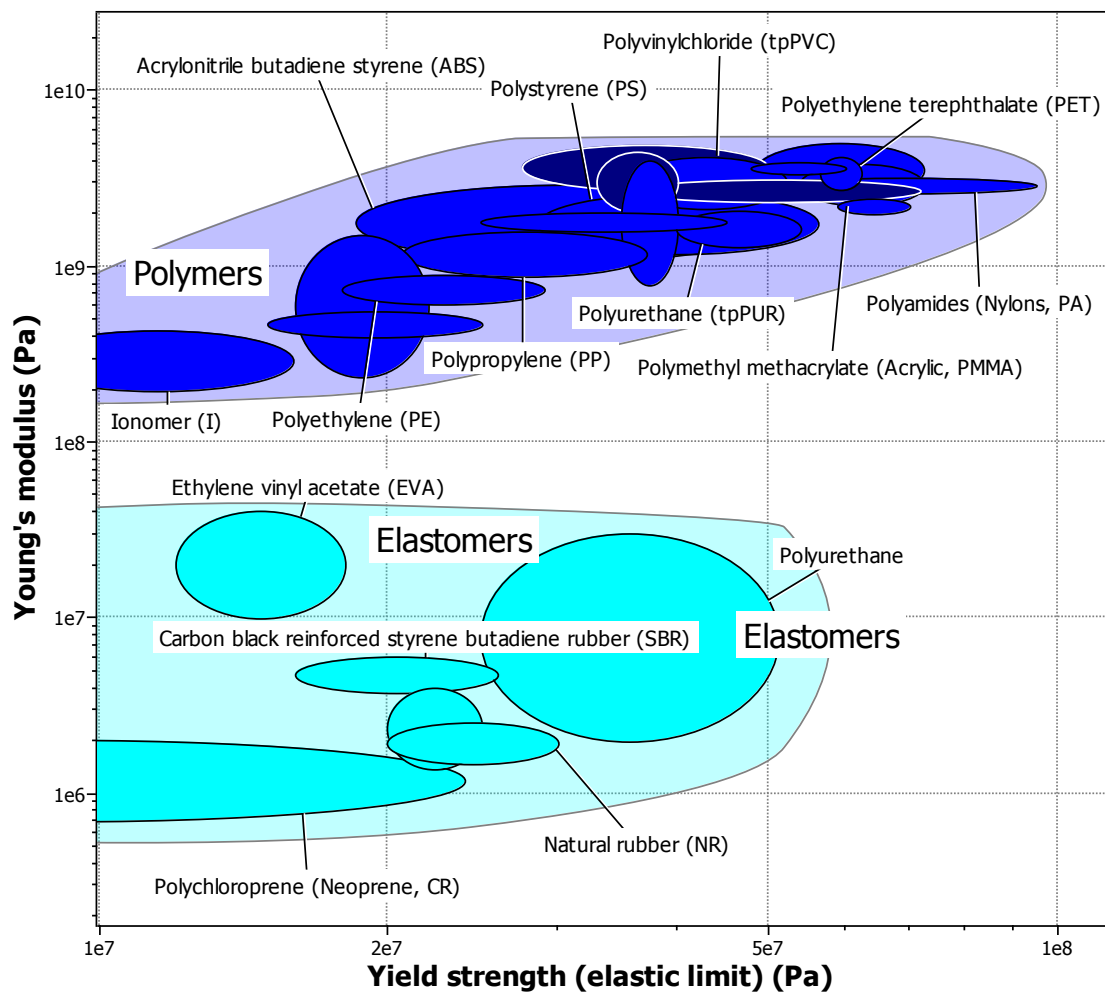


Il·lustració 10.3: Gràfic Preu - Límit elàstic de diversos metalls (CES Edu Pack).

10.2. Polímers i elastòmers

Els polímers i els elastòmers són materials lleugers, de baix cost i de fàcil conformació. A més tenen una bona resistència a la humitat i són bons aïllants tèrmics i elèctrics.

El següent gràfic mostra la comparació del mòdul de Young⁶ i el límit elàstic entre diversos polímers i elastòmers. D'aquesta manera es pot veure de manera ràpida quina serà la millor aplicació per a cada material pel que fa a les seves propietats mecàniques.



Il·lustració 10.4: Gràfic Mòdul de Young - Límit elàstic de materials plàstics (CES Edu Pack).

⁶ El mòdul de Young és la raó de canvi de la deformació respecte la tensió aplicada a un material en una sola direcció, essent una constant independent del esforç aplicat sempre que es mantingui per sota del límit elàstic.[12]

Escuma de cautxú NBR+PVC

Hem fet servir escuma de cautxú NBR/PVC per a la **goma de tancament** als perímetres de les portes. Aquest material és adequat per a aquesta funció ja que interessen les següents propietats: material escumós, poca densitat, baix preu, alta resistència a la humitat i bona elasticitat.

Taula 5: Propietats mitjanes del cautxú NBR+PVC

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m°C) | Calor específic (j/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|------------|
| 1.2e3 | 3.6 | 5e6 | 1.2e7 | 0.16 | 1.6e3 | Opac | Lenta | No |

Poliamida

Els accessoris per a les estructures de perfils d'alumini industrials solen estar conformats amb poliamida 6.6 ja que ofereix un plàstic més resistent i durador, com es pot veure a la Il·lustració 10.4. En el present projecte s'emprarà per als **panys** de les portes, **les frontisses** i per a les **manetes**.

Taula 6: Propietats mitjanes de la Poliamida 6.6

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m°C) | Calor específic (j/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|------------|
| 1.13e3 | 3.8 | 2.4e9 | 7.5e7 | 0.24 | 1.6e3 | Translúcid | Lenta | Si |

Polietilè (PE)

Per als **taps** dels perfils d'alumini, s'usarà el polietilè de baixa densitat ja que ofereix un material plàstic més flexible i dúctil, que facilita al usuari la col·locació dels taps dins els tubs d'alumini.

Taula 7: Propietats mitjanes del Polietilè (PE)

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m°C) | Calor específic (J/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|
| 950 | 1.5 | 7.5e8 | 1.5e7 | 0.42 | 1.85e3 | Translúcid | Altament Inflamable | Si |

Policlorur de vinil (PVC)

El policlorur de vinil o PVC és un material plàstic bo per a fer perfils per extrusió. Una altra de les seves propietats interessants és que es tracta d'un material ignífug, per aquestes raons s'aplicarà per al conformat dels **canals de subjecció** dels panells, la **caixa elèctrica**, els **panells opacs** i la **porta opaca** de la cambra de condicionament.

Taula 8: Propietats mitjanes del Policlorur de vinil (PVC)

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m°C) | Calor específic (J/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------|------------|
| 1.45e3 | 1.17 | 3.14e9 | 4.37e7 | 0.22 | 1.4e3 | Translúcid | Auto extingible | Si |

Polipropilè (PP)

Per a fer el **dipòsit d'aigua**, el material idoni és el polipropilè ja que és un plàstic translúcid, resistent i ens permetrà conèixer el nivell de líquid que conté el recipient.

Taula 9: Propietats mitjanes del Polipropilè (PP)

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m ² °C) | Calor específic (J/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|---|--------------------------|---------------|---------------------|------------|
| 900 | 1.6 | 1.2e9 | 3e7 | 0.14 | 1.9e3 | Translúcid | Altament Inflamable | Si |

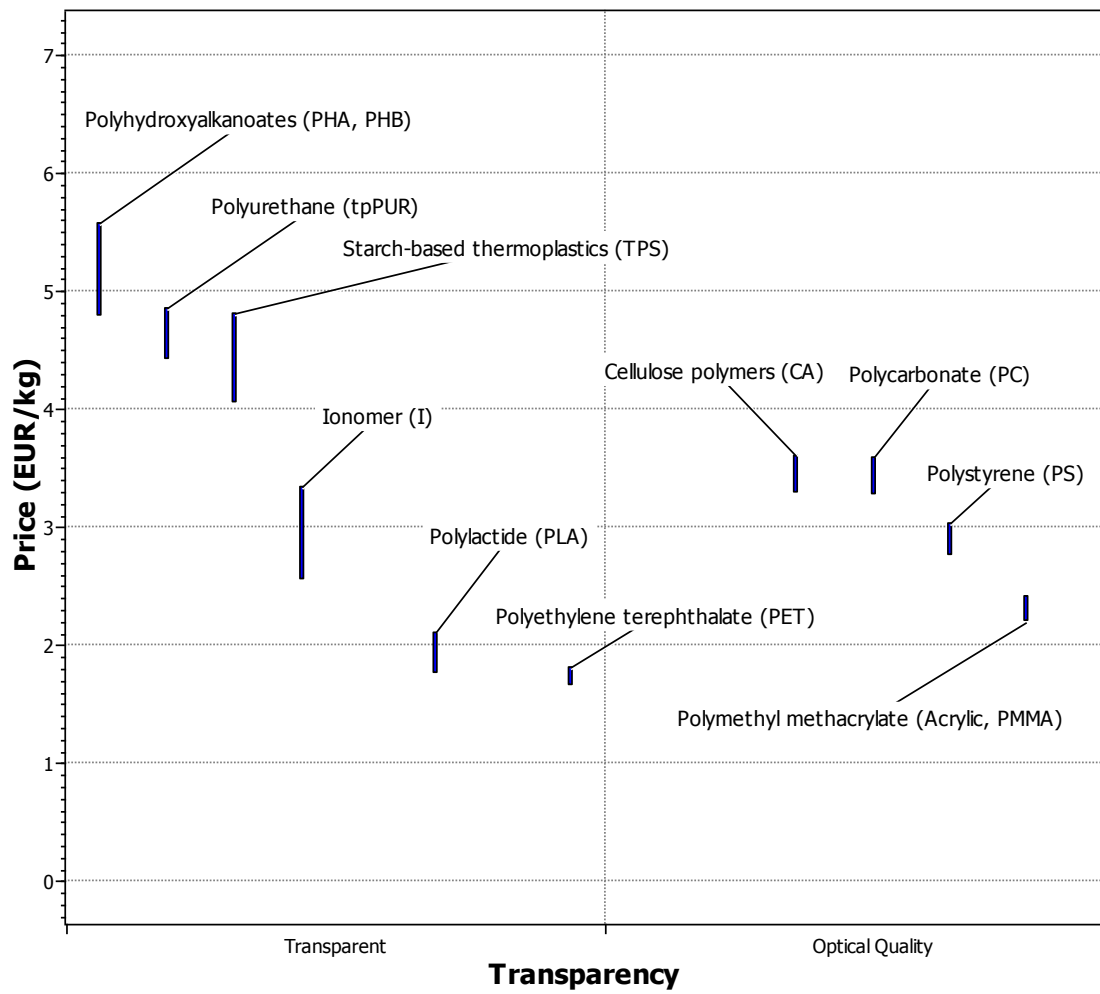
Polimetil metacrilat

El polimetil metacrilat, té les millors propietats òptiques de transparència, una bona resistència mecànica i és econòmic, això el fa el material idoni per a fer els **panells** i les **portes transparents**.

Taula 10: Propietats mitjanes del Polimetil metacrilat

| Densitat (Kg/m ³) | Preu (EUR/Kg) | Mòdul Young (Pa) | Límit Elàstic (Pa) | Conductivitat tèrmica (W/m ² °C) | Calor específic (J/Kg°C) | Transparència | Combustió | Reciclable |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|---|--------------------------|---------------|---------------------|------------|
| 1.4e3 | 1.7 | 2.9e9 | 6.7e7 | 0.14 | 1.2e3 | Opac | Altament Inflamable | Si |

En la il·lustració 10.5 es pot observar la comparativa entre diversos polímers en quant a la seva transparència i respecte el seu preu. El polimetil metacrilat és el material amb millor transparència i que ofereix una gran qualitat òptica.



Il·lustració 10.5: Gràfic del Preu i la Transparència d'alguns polímers (CES Edu Pack).

10.3. Materials naturals

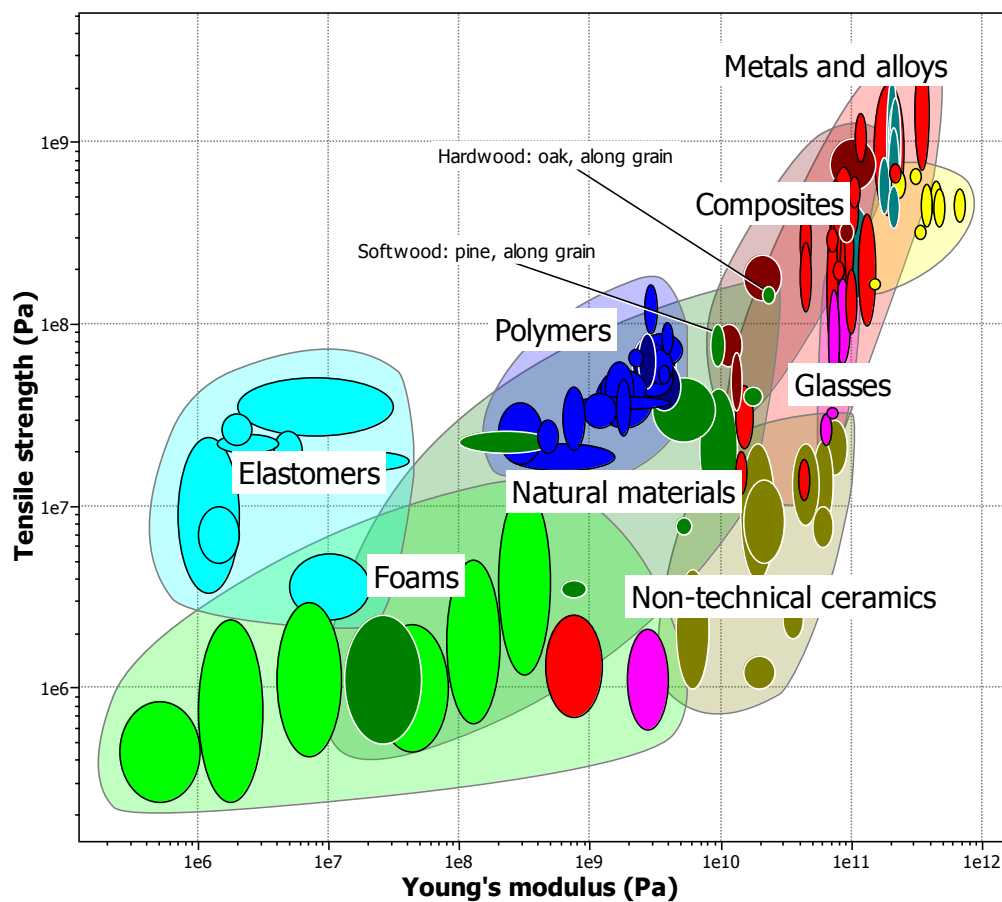
Els materials naturals són aquells que s'extreuen directament de la natura sense fer cap canvi en la seva composició química.

Fusta

La fusta és un material que proporciona una bona resistència a flexió i tensió, és un material més dur i resistent que els polímers i més lleuger i barat que els metalls. És un bon aïllant tèrmic i elèctric i és durador.

Per aquestes raons és un bon material per a fer la **taula** on hi reposarà el pes dels ous. Per a obtenir una superfície més suau i flonja, recobrirem la fusta amb una capa de neoprè.

En el següent gràfic podem veure una taula on es comparen materials de diversos grups en quant a la resistència a tensió i el seu mòdul de Young. La fusta és més rígida i resistent que els polímers i com que les tensions a les que treballarà són de l'ordre de 10^5 Pa, la fusta és una bona selecció.



Il·lustració 10.6: Gràfic de la Resistència a tensió i mòdul de Young (CES Edu Pack).

11. Seguretat i Ergonomia

11.1. Avaluació d'amenaques i solucions proposades

En aquest apartat es fa una petita avaluació dels riscos més crítics que pot provocar el projecte i se'n proposa algunes solucions.

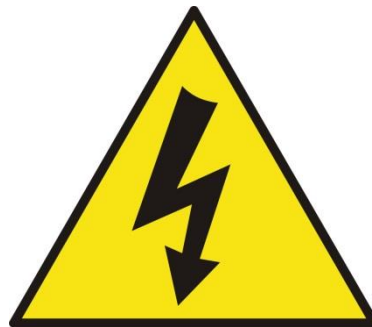
Risc elèctric

El sol fet de treballar amb alta tensió pot suposar un risc directe per als operaris i usuaris.

Aquest risc és major si s'afegeix el fet que l'estructura és d'alumini i existeix la possibilitat que algun dels cables de línia toqui amb aquest metall conductor.

Per evitar possibles accidents s'enumeren les següents accions:

1. Cal marcar mitjançant el següent adhesiu la tapa de la caixa elèctrica per tal d'indicar el lloc del perill i el tipus de perill.



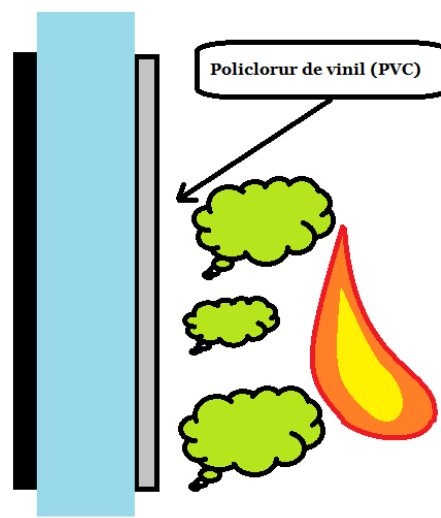
Il·lustració 11.1: Símbol de risc elèctric.

2. S'ha d'afegir una connexió a terra de seguretat, connectada directament a una de les peces de metall. D'aquesta manera en cas que hi hagués un contacte elèctric, es desviarà el corrent cap a terra i -si la instal·lació disposa d'un dispositiu diferencial- aquest saltarà i obrirà el circuit. En cas contrari, el flux de corrent elèctric anirà directament dirigit a terra.

Risc d'incendi

En qualsevol sistema on hi hagi alta tensió i fonts de calor, existeix el risc d'incendi. En el present cas, els plàstics que pateixen aquest risc, es troben allunyats de les fonts de calor.

Per altra banda, el plàstic que cobreix la zona més crítica en quant a alliberament de calor és el policlorur de vinil (PVC) que es tracta d'un material ignífug i auto extingible.



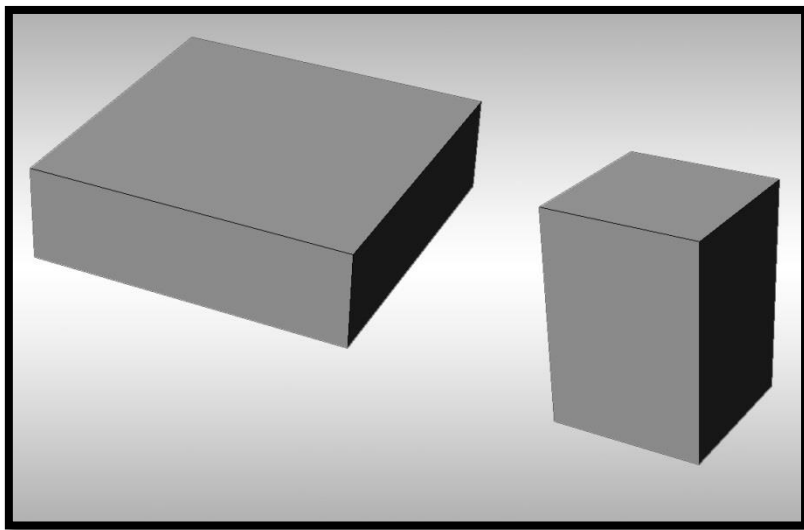
Il·lustració 11.2: Doble panell PVC. El PCV allibera clor gas que apaga el foc.

11.2. Ergonomia

L'ergonomia és la ciència que estudia la relació entre les persones i la seva feina, maquinaria o equip per tal de millorar les condicions de treball.

En el present cas, els aspectes que es poden millorar són:

Per una banda, fer un disseny més compacte per tal de que ocupi menys espai, amb aquesta mesura es perd estabilitat ja que es redueix amplada per tal de guanyar alçada, però es guanya espai i facilitat per a instal·lar l'aparell.



Il·lustració 11.3: Comparació entre el disseny actual (esquerra) i un disseny més compacte (dreta)

Un altre aspecte que es pot millorar és l'accessibilitat de la pantalla LCD, d'aquesta manera l'usuari pot veure l'estat de la incubadora d'una manera més ràpida i senzilla sense haver d'obrir la porta de la cambra de condicionament.

Finalment, hi ha una millora més tecnològica que consisteix en afegir un mòdul WiFi. Això permet controlar la incubadora des d'un telèfon mòbil. Per a fer això caldria dissenyar també una aplicació per a Android. Fins i tot es podria desenvolupar un sistema per a controlar el procés d'incubació a través d'internet. Aquestes millores però, queden fora de l'abast d'aquest projecte.

12. Anàlisi d'impacte mediambiental

Per a realitzar una avaluació dels impactes mediambientals associats al producte, s'avalua el cicle de vida del producte mitjançant un simulador de *SolidWorks* 2016.

12.1. Assumpcions prèvies generals

S'assumeix que l'assemblatge es munta al mateix lloc on s'ha de instal·lar. Suposa que el producte només consumeix energia elèctrica durant el seu ús. També es suposa que està dissenyat per una vida útil d'uns 10 anys dels quals es fa servir uns 8 anys.

Taula 11: Assumpcions generals prèvies al estudi de cicle de vida.

| Assemblatge | | Ús | |
|---------------------|---------|---------------------|-----------|
| Regió | Europa | Regió | Europa |
| Tipus d'energia | Cap | Tipus d'energia | Elèctrica |
| Quantitat d'energia | 0 kWh | Quantitat d'energia | 0.4 kWh |
| Vida útil | 10 anys | Vida útil | 8 anys |

Seguidament s'especifica per a cada peça el seu material, lloc d'origen, mètode de fabricació, tipus de reciclatge, etc. i s'executa el càlcul del programa.

12.2. Resultats

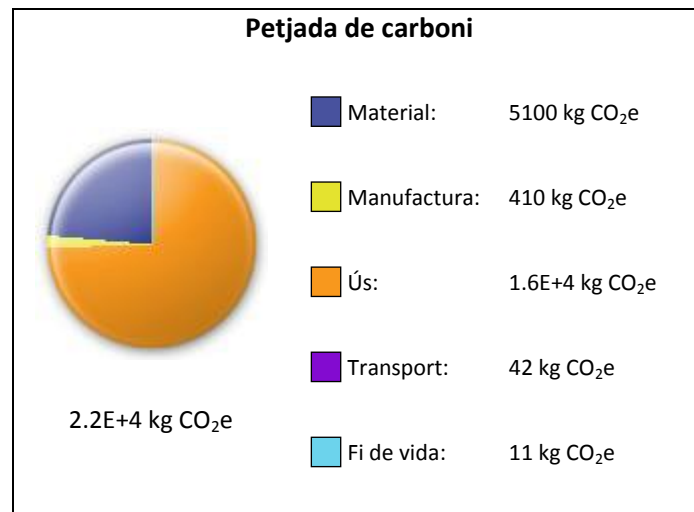
Petjada de carboni

La petjada de carboni es coneix com el total de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) emesos per efecte directe o indirecte d'un individu, organització, esdeveniment o producte [10].

En el nostre projecte s'ha calculat la petjada de carboni del conjunt i de la contribució dels següents aspectes:

- Material: Equivalent en CO₂ generat degut a l'obtenció del material final.
- Manufactura: Equivalent en CO₂ generat degut al procés de manufactura.
- Ús: Equivalent en CO₂ generat degut al ús del aparell al llarg de la vida útil.
- Transport: Equivalent en CO₂ generat degut al transport de les peces i materials així com del desplaçament del assemblatge final.
- Fi de Vida: Equivalent en CO₂ generat degut a la generació de residus en esgotar-se la vida útil del producte.

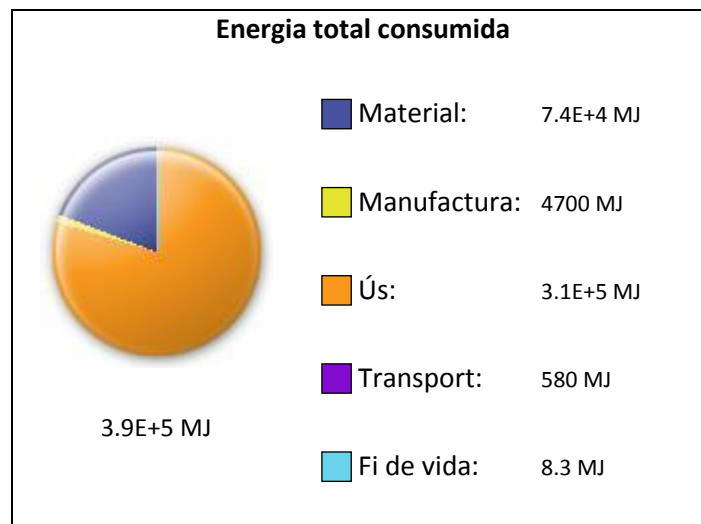
En la il·lustració 12.1 es pot veure una gràfica on es mostra que la petjada total de CO₂ és de 22 tones de CO₂ de les quals 3/4 parts són degudes al consum energètic durant el temps de vida útil.



Il·lustració 12.1: Representació gràfica de la petjada de carboni.

Energia total consumida

L'energia total consumida, és una mesura de l'energia que s'ha invertit en cada procés. En la il·lustració 12.2 es pot veure una gràfica on es mostra que la major part d'energia consumida és dedica al consum energètic nominal de l'aparell.

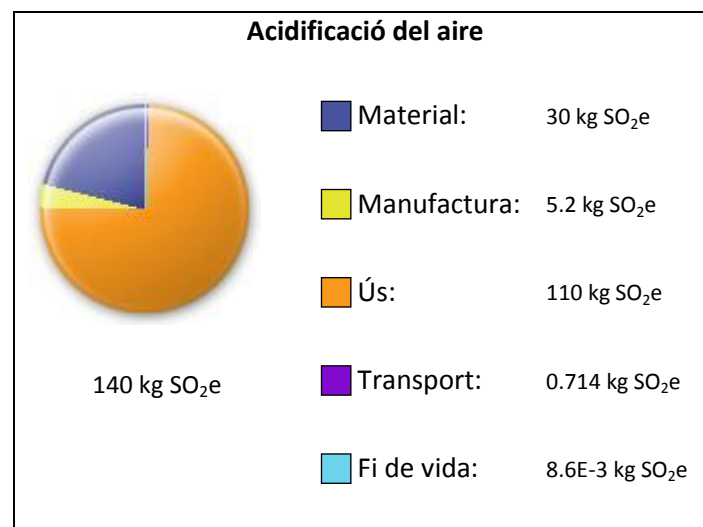


Il·lustració 12.2: Representació gràfica de la Energia total consumida.

Acidificació de l'aire

L'acidificació és un fenomen causat per les emissions d'òxids de sofre i de nitrogen que es combinen amb l'aigua de l'atmosfera tot reduint-ne el pH. Aquesta acidificació provoca la desforestació, l'erosió accelerada de materials de construcció i sol tenir efectes adversos contra la salut.

Una manera de mesurar la contribució a aquest impacte és mitjançant els Kg de SO₂ alliberats en les diverses etapes del cicle de vida del producte.



Il·lustració 12.3: Representació gràfica de les emissions de SO₂.

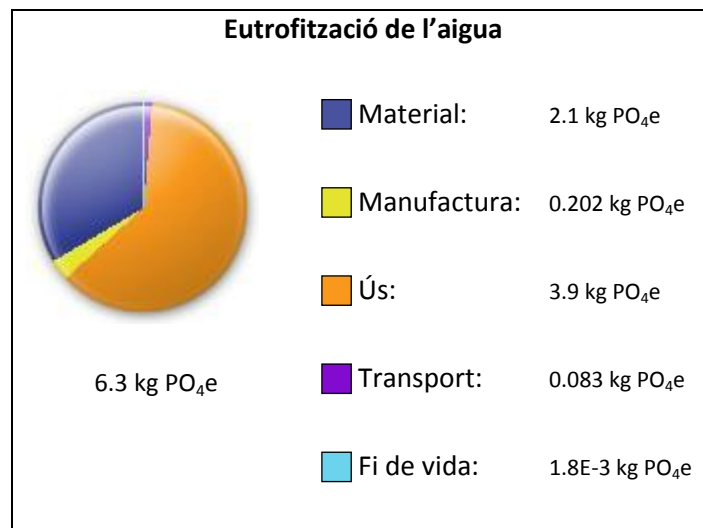
Com es pot veure, la major part de la contribució és deguda novament al consum energètic, ja que una gran part de l'energia obtinguda a la xarxa prové de la combustió de combustibles fòssils que contenen sofre. Els nitrats però s'obtenen directament de les combustions a alta temperatura de l'aire que conté nitrogen.

En aquest apartat apareix també una major repercussió de la manufactura, això es degut a que en els processos d'extrusió, injecció, tractaments tèrmics i acabats es sol escalfar el material mitjançant combustió.

Eutrofització de l'aigua

L'eutrofització és un impacte mediambiental degut a l'alliberament de nitrats i sulfats en un ecosistema aquàtic. Aquest alliberament de nutrients causa un desequilibri en l'ecosistema provocant una pèrdua important de biodiversitat.

Una manera de mesurar la contribució a aquest impacte és mitjançant els Kg de PO_4 alliberats en les diverses etapes del cicle de vida del producte.











































Il·lustració 12.4: Representació gràfica de les emissions de PO_4

Podem observar però que la contribució del projecte amb aquest impacte mediambiental durant el cicle de vida del producte és relativament petita. Per altra banda, l'obtenció de material, la manufactura i el transport fan una major contribució a l'eutrofització d'aigua que en els altres impactes mediambientals descrits.

Finalment, s'exposa una llista amb els 10 components que més contribueixen a les quatre àrees d'impacte mediambiental descrites prèviament.

Taula 12: llistat dels 10 components amb major contribució als impactes mediambientals.

| Component | Carboni | Aigua | Aire | Energia |
|--------------------|---|--|--|---|
| Porta superior | 33  | 7.4E-3  | 0.105  | 700  |
| Alumini 40 920 | 22  | 5.0E-3  | 0.151  | 270  |
| Rail KU 25.10 | 18  | 0.045  | 0.048  | 180  |
| Alumini 40 800 | 19  | 4.4E-3  | 0.132  | 240  |
| Terra 520x940 | 14  | 5.8E-3  | 0.098  | 310  |
| Porta petita | 14  | 3.3E-3  | 0.046  | 310  |
| Alumini 40 500 | 12  | 2.7E-3  | 0.082  | 150  |
| Sostre 220x940 | 12  | 2.7E-3  | 0.038  | 250  |
| Alumini 40 380 | 9.1  | 2.1E-3  | 0.063  | 110  |
| Porta petita opaca | 7.1  | 3.0E-3  | 0.051  | 160  |

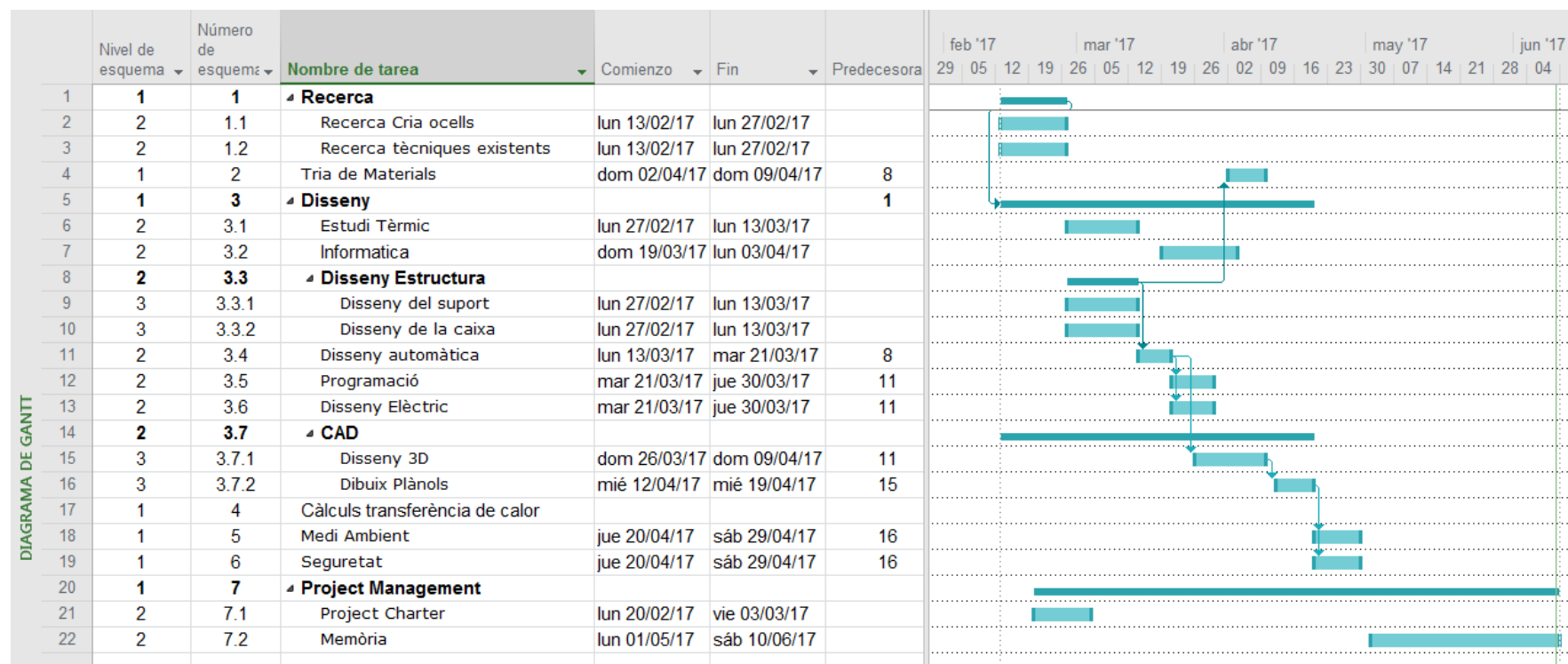
Tot i que queda fora de l'objectiu del treball, el següent pas lògic de disseny per al projecte haurà de ser: revisar els resultats anteriors, desenvolupar solucions per minimitzar els impactes mediambientals d'aquestes peces com ara:

- Buidar els materials i disminuir-ne la quantitat.
- Buscar alternatives als materials, amb un menor impacte mediambiental.
- Adquirir materials de proximitat geogràfica.
- Evitar l'ús de materials no reciclables.

Finalment caldrà redissenyar el projecte amb els nous paràmetres. D'aquesta manera s'aconseguirà obtenir un producte més sostenible.

13. Planificació de tasques i programació temporal del projecte.

En aquest apartat es fa una planificació de les tasques que cal dur a terme per a realitzar el projecte i es fa una estimació de la programació temporal mitjançant el programa MS Project.



Il·lustració 13.1: Diagrama de Gantt.

14. Conclusions

Finalment, s'ha aconseguit dissenyar una incubadora per a la cria d'ocells compatible amb els requeriments proposats a l'inici. A partir de la recerca, els esbossos, els estudis, els càlculs i les simulacions hem obtingut un disseny eficient, funcional, fàcilment modificable i senzill de fabricar i replicar.

Mitjançant l'ús dels sistemes Genuino-Arduino s'ha realitzat el sistema de control així com el seu corresponent programa informàtic en c++/Arduino, resultant en un projecte totalment lliure o: *Open Source* i a l'abast del públic.

S'ha elaborat un disseny 3D amb els corresponents plànols de les peces i del conjunt i s'ha justificat l'ús dels diversos materials emprats en aquest projecte de la mateixa manera que s'ha justificat objectivament totes les solucions proposades.

S'ha realitzat un estudi dels principals riscos de seguretat i s'han avaluat possibles solucions.

S'ha realitzat també un estudi d'impacte mediambiental mitjançant un anàlisi de cicle de vida del producte, calculant la contribució del projecte a quatre aspectes mediambientals (emissió de carboni, ús d'energia, acidificació i eutrofització) i s'han assenyalat els 10 components més contaminants del projecte tot aportant possibles solucions per reduir l'impacte.

15. Bibliografía

- [1] “INCUBADORAS Y CONSEJOS DE INCUBACION.” [Recurs Online]. Available: <http://www.tiendaganadera.com>.
- [2] R. M. Noiva, A. C. Menezes, and M. C. Peleteiro, “Influence of temperature and humidity manipulation on chicken embryonic development,” *BMC Vet. Res.*, vol. 10, 2014.
- [3] V. M. BARBOSA *et al.*, “The effects of relative humidity and turning in incubators machines on the incubation yield and chick performance,” *Worlds. Poult. Sci. J.*, vol. 69, no. 1, pp. 89–98, 2013.
- [4] Dr. Charles Xie, “Energy 2D.” 2010.
- [5] MapleSoft, “Maple.” 2016.
- [6] Y. Çengel and A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*, 5th ed. New York: Mc Graw Hill, 2015.
- [7] Dassault Systems, “SolidWorks.” .
- [8] “Arduino.cc.” [Recurs Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- [9] “3D ContentCentral.” [Recurs Online]. Available: <https://www.3dcontentcentral.es/Default.aspx>.
- [10] “AENOR - Huella de Carbono de productos, servicios, organizaciones y eventos.” [Recurs Online]. Available: http://www.ca.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/mab_huella_carbono.asp#.WSdN8uuGOHt.
- [11] Ó. Torrente Artero, *El mundo Genuino-Arduino curso práctico de formación*, 1st ed. Madrid: RC Libros, 2016.
- [12] M. E. Gurtin, “The Linear Theory of Elasticity,” in *Linear Theories of Elasticity and Thermoelasticity: Linear and Nonlinear Theories of Rods, Plates, and Shells*, C. Truesdell, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1973, pp. 1–295.